

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA,
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
TITULACIÓN DE GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA

TRABAJO FIN DE GRADO



**EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA A ESCALA
MUNICIPAL Y SU EVOLUCIÓN TEMPORAL**

Madrid, (Julio, 2015)

Alumna: María Valverde Almazán

Tutores: Jorge M. Gaspar Escribano
Sandra Martínez Cuevas

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA,
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
TITULACIÓN DE GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA

TRABAJO FIN DE GRADO



**EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA A ESCALA
MUNICIPAL Y SU EVOLUCIÓN TEMPORAL**

Madrid, (Julio, 2015)

Alumna: María Valverde Almazán

Tutores: Jorge M. Gaspar Escribano
Sandra Martínez Cuevas

Agradecimientos

A mis tutores, Jorge M. Gaspar y Sandra Martínez, por su tiempo y dedicación.

A mi familia y amigos, por su apoyo, confianza y paciencia mostrados a lo largo de estos años. Especialmente a Mar y Mónica, por hacer que el tiempo haya pasado tan deprisa.

Tabla de contenido

Índice de tablas	6
Índice de figuras.....	7
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. RESUMEN	2
1.2. OBJETIVO	4
2. ANTECEDENTES	7
2.1 LA SISMICIDAD DE ESPAÑA	7
2.2 NORMAS Y REFERENCIAS.....	11
2.3 FUNDAMENTOS ENTORNO AL RIESGO SÍSMICO	13
2.3.1 Elementos de análisis del riesgo sísmico	13
2.3.2 Escala Macrosísmica Europea (EMS-98)	15
2.3.3 Matrices de Probabilidad de Daño	26
3. METODOLOGÍA.....	30
3.1 CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS GEORREFERENCIADA	30
3.1.1 Mapas de peligrosidad sísmica.....	30
3.1.2 Elementos expuestos	33
3.1.3 Superficie construida y coste de referencia	34
3.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA	35
3.3 ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO	45
3.3.1 Índices de daño.....	45
3.4 COSTE ASOCIADO AL DAÑO.....	47
4. APLICACIÓN DEL ESTUDIO	50
4.1 REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	50
4.1.1 Evolución temporal de la vulnerabilidad sísmica	50

4.1.2 Evolución temporal del riesgo sísmico	61
4.2 COMPARACIÓN DE LOS MAPAS GENERADOS A PARTIR DE LA NCSE-02 Y DE OPPEL.....	71
4.2.1 Riesgo sísmico	71
4.2.2 Edificios inhabitables.....	76
4.2.3 Coste asociado al daño.....	79
5. CONCLUSIONES	86
6. PRESUPUESTO	89
6.1 RECURSOS HUMANOS	89
6.2 EQUIPOS	90
6.3 MATERIAL FUNGIBLE.....	90
6.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA TOTAL.....	91
ANEXOS.....	93
NORMA DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE ESPAÑOLA, 2002	93
REFERENCIAS	97

Índice de tablas

TABLA 1. TABLA DE VULNERABILIDAD. DIFERENCIA LAS ESTRUCTURAS EDIFICATORIAS EN CLASES DE VULNERABILIDAD. EMS-98 (G. GRÜNTAL).	15
TABLA 2. DEFINICIONES DE GRADOS DE INTENSIDAD. ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA (G. GRÜNTAL, 1998).	22
TABLA 3. ESCALA DE GRADOS DE DAÑO SEGÚN LA EMS-98 (G.GRÜNTAL, 1998).	25
TABLA 4. MATRICES DE PROBABILIDAD DE DAÑO (MPD). CHÁVEZ 1998.	26
TABLA 5. TABLA DE RELACIÓN ACELERACIÓN-INTENSIDAD DEL PROYECTO OPPEL (IGN-UPM, 2013).	33
TABLA 6. MATRIZ DE PERTENENCIA A LAS CLASES DE VULNERABILIDAD. APLICA PORCENTAJES DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS PARA CADA CLASE DE VULNERABILIDAD EN FUNCIÓN DEL AÑO DE CONSTRUCCIÓN.	35
TABLA 7. ÍNDICES DE VULNERABILIDAD PROPUESTOS EN RISK-UE (MILUTINOVIC Y TRENDABILOSKI, 2003).	44

TABLA 8. RELACIÓN ENTRE LAS CLASES DE VULNERABILIDAD Y LOS LÍMITES UTILIZADOS PARA SU REPRESENTACIÓN.....	44
TABLA 9. VALOR DE RECONSTRUCCIÓN DE LOS EDIFICIOS DAÑADOS EN FUNCIÓN COSTE DE CONSTRUCCIÓN Y DEL GRADO DE DAÑO ESPERADO.	48
TABLA 10. RELACIÓN DEL PORCENTAJE DE MUNICIPIOS CORRESPONDIENTES A CADA CLASE DE VULNERABILIDAD EN CADA PERIODO DE TIEMPO A PARTIR DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.	57
TABLA 11. ESQUEMA TEMPORAL DEL TRABAJO.	89
TABLA 12. TABLA DE COSTE DEL PERSONAL DEL TRABAJO.....	89
TABLA 13. TABLA DE COSTES DEL EQUIPO UTILIZADO EN EL TRABAJO.....	90
TABLA 14. TABLA DE COSTES DEL MATERIAL FUNGIBLE UTILIZADO EN EL TRABAJO.	90
TABLA 15. TABLA DE EVALUACIÓN ECONÓMICA TOTAL DEL TRABAJO.	91

Índice de figuras

FIGURA 1. SÍNTESIS SISMOTECTÓNICA. FUENTE: INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL.	7
FIGURA 2. MAPA DE FALLAS ACTIVAS CUATERNARIAS. VERSIÓN ONLINE: HTTP://INFO.IGME.ES/QAFI/ (IGME).	8
FIGURA 3. MAPA DE SISMICIDAD DE LA PENÍNSULA IBÉRICA Y ZONAS PRÓXIMAS. FUENTE: INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (2003). LOS EPICENTROS DEL PERIODO HISTÓRICO ENTRE LOS AÑOS 1048 Y 1919 ESTÁN REPRESENTADOS MEDIANTE VALORES DE INTENSIDAD SÍSMICA, MIENTRAS QUE LOS CORRESPONDIENTES AL PERIODO INSTRUMENTAL 1920-2003, SE REPRESENTAN POR VALORES DE MAGNITUD.	11
FIGURA 4. NORMAS DE CONSTRUCCIÓN EXISTENTES EN ESPAÑA.....	12
FIGURA 5. EDIFICIO DE MAMPOSTERÍA EN PIEDRA. VULNERABILIDAD A. FUENTE: RISMUR.	17
FIGURA 6. EDIFICIO DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE. VULNERABILIDAD A. FUENTE: RISMUR.	17
FIGURA 7. EDIFICIO DE MAMPOSTERÍA DE ROCA SIMPLE. POR H. TIEDEMANN (SWISS REINSURANCE COMPANY, ZÚRICH). FUENTE: EMS-98.	18
FIGURA 8. EDIFICIO DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO. VULNERABILIDAD B. FUENTE: RISMUR.	18
FIGURA 9. EDIFICIO DE LADRILLO CON FORJADOS DE HORMIGÓN. VULNERABILIDAD C. FUENTE: RISMUR.	19
FIGURA 10. EDIFICIO DE PILARES Y FORJADOS DE HA. VULNERABILIDAD C. FUENTE: RISMUR.	19
FIGURA 11. EDIFICIO DE MUROS DE HA. VULNERABILIDAD C-D. FUENTE: RISMUR.	20
FIGURA 12. ESTRUCTURAS METÁLICAS. VULNERABILIDAD D. FUENTE: RISMUR.	20
FIGURA 13. EDIFICIO CON ESTRUCTURA DE MADERA. VULNERABILIDAD E. FUENTE: RISMUR.	21
FIGURA 14. ORGANIGRAMA A SEGUIR PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO.	30

FIGURA 15. MAPA DE PELIGROSIDAD SÍSMICA DE ESPAÑA EN VALORES DE PGA, PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS DE ACUERDO A LA NCSE-02.	31
FIGURA 16. MAPA DE PELIGROSIDAD SÍSMICA DE ESPAÑA EN VALORES DE PGA, PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS. ACTUALIZACIÓN DE MAPAS DE PELIGROSIDAD SÍSMICA DE ESPAÑA 2012 (IGN-UPM).	31
FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS DISPONIBLES DE LOS EDIFICIOS DESTINADOS PRINCIPALMENTE A VIVIENDAS SEGÚN LA INFORMACIÓN DE LAS BASES DE DATOS DEL INE.	34
FIGURA 18. MAPA CORRESPONDIENTE AL NÚMERO DE EDIFICIOS DE CLASE DE VULNERABILIDAD A.	37
FIGURA 19. MAPA CORRESPONDIENTE AL PORCENTAJE DE EDIFICIOS RESPECTO AL TOTAL DE CLASE DE VULNERABILIDAD A.	37
FIGURA 20. MAPA CORRESPONDIENTE AL NÚMERO DE EDIFICIOS DE CLASE DE VULNERABILIDAD B.	38
FIGURA 21. MAPA CORRESPONDIENTE AL PORCENTAJE DE EDIFICIOS RESPECTO AL TOTAL DE CLASE DE VULNERABILIDAD B.	38
FIGURA 22. MAPA CORRESPONDIENTE AL NÚMERO DE EDIFICIOS DE CLASE DE VULNERABILIDAD C.	39
FIGURA 23. MAPA CORRESPONDIENTE AL PORCENTAJE DE EDIFICIOS RESPECTO AL TOTAL DE CLASE DE VULNERABILIDAD C.	39
FIGURA 24. MAPA CORRESPONDIENTE AL NÚMERO DE EDIFICIOS DE CLASE DE VULNERABILIDAD D.	40
FIGURA 25. MAPA CORRESPONDIENTE AL PORCENTAJE DE EDIFICIOS RESPECTO AL TOTAL DE CLASE DE VULNERABILIDAD D.	40
FIGURA 26. MAPA CORRESPONDIENTE AL NÚMERO DE EDIFICIOS DE CLASE DE VULNERABILIDAD E.	41
FIGURA 27. MAPA CORRESPONDIENTE AL PORCENTAJE DE EDIFICIOS RESPECTO AL TOTAL DE CLASE DE VULNERABILIDAD E.	41
FIGURA 28. REPRESENTACIÓN DEL PORCENTAJE DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS DE CADA CLASE DE VULNERABILIDAD EN ESPAÑA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE LA EMS-98.	42
FIGURA 29. ECUACIÓN DE RELACIÓN DE PERTENENCIA SEGÚN EL IV A CADA CLASE DE VULNERABILIDAD DE LA EMS-98 (G. GRÜNTAL, 1998).	43
FIGURA 30. MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 1950.	51
FIGURA 31. MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 1970.	52
FIGURA 32. MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 1990.	53
FIGURA 33. MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 2001.	54
FIGURA 34. MAPA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 2011.	55
FIGURA 35. EVOLUCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DESDE ANTES DE 1900 HASTA EL AÑO 2011 (INE).	56
FIGURA 36. NÚMERO DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS EN CADA ÉPOCA PARA CADA CLASE DE VULNERABILIDAD SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DADA POR LA EMS-98.	57
FIGURA 37. REPRESENTACIÓN DE LOS MUNICIPIOS CON MAYOR VOLUMEN DE EDIFICIOS RESIDENCIALES CONSTRUIDOS HASTA EL AÑO 1950.	58

FIGURA 38. REPRESENTACIÓN DE LOS MUNICIPIOS CON MAYOR VOLUMEN DE EDIFICIOS RESIDENCIALES CONSTRUIDOS EN LA ÚLTIMA DÉCADA.....	60
FIGURA 39 REPRESENTACIÓN DEL PORCENTAJE TOTAL DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS DE CADA CLASE DE VULNERABILIDAD SEGÚN EL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.....	60
FIGURA 40. REPRESENTACIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS DE CADA CLASE DE VULNERABILIDAD SEGÚN EL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.....	61
FIGURA 41. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 1950 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE LA NORMA.	62
FIGURA 42. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 1970 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE LA NORMA.	63
FIGURA 43. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 1990 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE LA NORMA.	64
FIGURA 44. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 2001 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE LA NORMA.	65
FIGURA 45. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 2011 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE LA NORMA.	66
FIGURA 46. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 2011 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE OPPEL.	67
FIGURA 47. MAPA INDICADOR DEL DESCENSO DE GRADO DE DAÑO MEDIO EN LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES DE ESPAÑA HASTA EL AÑO 2011 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE LA NORMA.	69
FIGURA 48. REPRESENTACIÓN DEL PORCENTAJE DE CADA GRADO DE DAÑO EN LOS MUNICIPIOS DE MINAS DE RIOTINTO Y ORKOIEN.	70
FIGURA 49. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 2011 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE LA NORMA.	71
FIGURA 50. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 2011 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE OPPEL.	72
FIGURA 51. NÚMERO TOTAL DE EDIFICIOS POR GRADO DE DAÑO SEGÚN LOS VALORES DE PGA DADOS POR LA NCSE-02.	73
FIGURA 52. NÚMERO TOTAL DE EDIFICIOS POR GRADO DE DAÑO SEGÚN LOS VALORES DE PGA DADOS POR OPPEL.	73
FIGURA 53. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 2011 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE LA NORMA.	74
FIGURA 54. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 2011 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE OPPEL.	74

FIGURA 55. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 2011 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE LA NORMA.....	75
FIGURA 56. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DE LOS MUNICIPIOS MAYORES DE 2000 HABITANTES HASTA EL AÑO 2011 A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DE OPPEL.....	75
FIGURA 57. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DADO EN TÉRMINOS DE EDIFICIOS INHABITABLES A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DADOS POR LA NORMA.....	77
FIGURA 58. MAPA DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA DADO EN TÉRMINOS DE EDIFICIOS INHABITABLES A PARTIR DE LOS VALORES DE PGA DADOS POR LA NORMA.....	78
FIGURA 59. COMPARACIÓN DEL NÚMERO DE EDIFICIOS INHABITABLES EN FUNCIÓN DE LOS VALORES DE PGA DADOS POR LA NCSE-02 Y OPPEL.....	79
FIGURA 60. MAPA DEL VALOR DEL COSTE DE REFERENCIA O COSTE DE EJECUCIÓN MATERIAL EN CADA MUNICIPIO DE ESPAÑA MAYOR DE 2000 HABITANTES.....	80
FIGURA 61. MAPA DE COSTE DE RECONSTRUCCIÓN DE LOS MUNICIPIOS EN FUNCIÓN DEL GRADO DE DAÑO DETERMINADO A PARTIR DE VALORES DE PGA DADOS POR LA NORMA, DE LOS MUNICIPIOS DE ESPAÑA MAYORES DE 2000 HABITANTES.....	81
FIGURA 62. MAPA DE COSTE DE RECONSTRUCCIÓN DE LOS MUNICIPIOS EN FUNCIÓN DEL GRADO DE DAÑO DETERMINADO A PARTIR DE VALORES DE PGA DADOS POR LA NORMA, DE LOS MUNICIPIOS DE ESPAÑA MAYORES DE 2000 HABITANTES.....	82
FIGURA 63. COMPARACIÓN DEL COSTE MEDIO DE REPARACIÓN DEL TOTAL DE DAÑO ESPERADO SEGÚN LOS VALORES DE PGA DADOS POR LA NCSE-02 Y OPPEL.....	83
FIGURA 64. COSTE MEDIO DE REPARACIÓN DE DAÑOS SEGÚN LOS VALORES DE PGA DADOS POR LA NCSE-02.....	84
FIGURA 65. COSTE MEDIO DE REPARACIÓN DE DAÑOS SEGÚN LOS VALORES DE PGA DADOS POR OPPEL.....	84
FIGURA 66. GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE COSTES ASOCIADOS AL TRABAJO.....	91



INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

1.1. RESUMEN

La acción producida por fenómenos naturales catastróficos en entornos urbanos supone un riesgo importante, pues conlleva innumerables pérdidas, tanto económicas como humanas. Los terremotos son uno de los fenómenos que mayor cantidad de pérdidas ha producido en todo el mundo, debido a su aleatoriedad y su complicada predicción exacta. Por este motivo, el conocimiento del riesgo sísmico de una zona es fundamental para la adopción de medidas de prevención conducentes a la mitigación del riesgo.

En España residen cerca de 47.000.000 de habitantes, en un área de, aproximadamente, 500.000 km². Casi 3.000.000 de edificios residenciales fueron construidos (suponiendo el 33% del total) cuando no existían los códigos de diseño antisísmico. En la actualidad, estos edificios antiguos coexisten con nuevas construcciones que han aplicado el diseño sismorresistente, especialmente en ciudades situadas en zonas sísmicamente activas, que pueden presentar un alto riesgo incluso bajo los efectos de un terremoto moderado.

La evaluación del riesgo sísmico es un método de valorar los posibles daños que puede provocar una acción sísmica. Para su estimación, se precisa evaluar la peligrosidad sísmica de la zona, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Si bien la peligrosidad responde a un proceso natural que no se puede controlar, la vulnerabilidad sí se puede reducir (por ejemplo, ejecutando medidas de construcción sismorresistente).

En definitiva, el conocimiento del riesgo sísmico de una zona puede servir para aumentar la conciencia sísmica en las ciudades e impulsar el desarrollo de planes de acción necesarios para la reducción del riesgo sísmico.

La presente memoria expone de forma detallada todos los aspectos técnicos y metodológicos en los que nos hemos servido para la realización de este Trabajo Final de Grado.



El trabajo consiste en realizar una estimación del riesgo sísmico de la edificación residencial en los municipios con poblaciones mayores de dos mil habitantes existentes en España, incluyendo con ello a la Península Ibérica, Islas Baleares, Islas Canarias, Ceuta y Melilla, realizando un análisis de la variación del riesgo sísmico en el tiempo, y comparando con la actualización del mapa de peligrosidad sísmica de España.

Para la estimación del riesgo sísmico se parte, por un lado, del estudio de los elementos expuestos, mediante la información referente a la construcción de edificios residenciales. Con los datos de localización y edad de construcción se estima la vulnerabilidad sísmica, caracterizada mediante la metodología empírica del Índice de vulnerabilidad, siendo asignado un índice representativo para cada municipio.

Por otro lado, se obtiene la acción sísmica de dos fuentes distintas: de los mapas de peligrosidad contenidos en la Normativa Sismorresistente Española vigente desde el año 2002, y del nuevo mapa de peligrosidad de España generado en 2012 (IGN – UPM, 2013), lo que permite observar los cambios que se han producido en su actualización. Considerando la intensidad máxima esperada de un terremoto en una zona determinada, se aplican Matrices de Probabilidad de Daño que permiten estimar el daño que sufriría cada municipio en función de la acción sísmica y de su vulnerabilidad característica. De esta forma se evalúa el riesgo sísmico expresado en términos de daño físico o daño provocado en las edificaciones de los municipios estudiados.

Además, se determina un segundo estimador de riesgo, de índole económica, que expresa el coste económico de la reparación de daños físicos estimados previamente.

Finalmente, se discute sobre el grado de incertidumbre de los resultados obtenidos, y de la necesidad de profundizar en la determinación del riesgo en las infraestructuras lineales y edificios no abordados en este trabajo (edificios institucionales, comerciales, de servicios públicos, industriales, etc.), proponiendo posibles líneas futuras de estudio.



Las metodologías utilizadas se apoyan en la tecnología y las ventajas que proporcionan los Sistemas de Información Geográficos (SIG), como herramienta de gestión de información espacial y temática de forma georreferenciada.

1.2. OBJETIVO

El objetivo principal del trabajo es conocer el riesgo sísmico existente en España a escala municipal, analizando la variación temporal de la vulnerabilidad sísmica y del riesgo sísmico expresado en términos de daño físico sobre edificaciones residenciales. Para lograr el objetivo principal, se exponen a continuación los objetivos específicos que se han llevado a cabo, divididos en objetivos específicos de evaluación de las metodologías existentes y objetivos específicos de aplicación a España.

Los objetivos específicos de evaluación de las metodologías son:

1. Establecer la metodología que se ajuste a los datos de los que disponemos para obtener una clasificación de la vulnerabilidad del parque inmobiliario existente, generando una matriz de porcentajes que establece una división temporal de vulnerabilidades, la cual se obtiene a partir de las matrices propuestas en los proyectos de riesgo: RISMUR y SISMOSAN, obteniendo una clasificación de vulnerabilidad en función de las clases propuestas por la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98).
2. Clasificar mediante elaboración propia de la vulnerabilidad obtenida en clases según la EMS-98, mediante el método del Índice de vulnerabilidad, distinguiendo cuatro clases representativas en función de los límites del índice establecidos: Baja, Media, Alta y Muy Alta.
3. Estimar el daño esperado tras conocer la intensidad máxima esperada en cada municipio, utilizando la metodología de las Matrices de Probabilidad de Daño, en las que se estima, a partir de datos reales, el porcentaje de edificios que sufre cada grado de daño para cada grado de intensidad.



4. Evaluar el riesgo sísmico esperado en cada municipio en función de los grados de daño, estableciendo como índice de representación, el daño medio para cada localidad, y caracterizarlo presentando una estimación del número de edificios inhabitables para conocer las zonas más afectadas, a partir de la ecuación utilizada en el proyecto SISMOSAN.
5. Estimar el riesgo en términos de pérdidas económicas esperadas en relación al daño físico, a partir del coste de construcción calculado para cada municipio.

Los objetivos de aplicación son:

1. Analizar la evolución de la vulnerabilidad edificatoria y del riesgo sísmico en cada municipio, estableciendo distintas épocas constructivas pudiendo identificar las zonas en las que se ha disminuido la vulnerabilidad y el riesgo gracias a la implementación de códigos sísmicos de obligado cumplimiento, estableciendo los municipios que se mantienen con riesgo elevado a lo largo del tiempo.
2. Evaluar el impacto de la variación del riesgo en función de la actualización del mapa de peligrosidad sísmica utilizado.



ANTECEDENTES

2. ANTECEDENTES

2.1 LA SISMICIDAD DE ESPAÑA

La mayor parte de los terremotos se sitúan en los bordes de las grandes placas tectónicas. La Península Ibérica se sitúa en el extremo sur de la placa euroasiática, la cual se prolonga desde la dorsal centroatlánticaa la altura de las Islas Azores, hasta la gran zona de falla, que a través del norte de Marruecos, sur de España y norte de Argelia, sirve de límite de contacto con la placa africana.

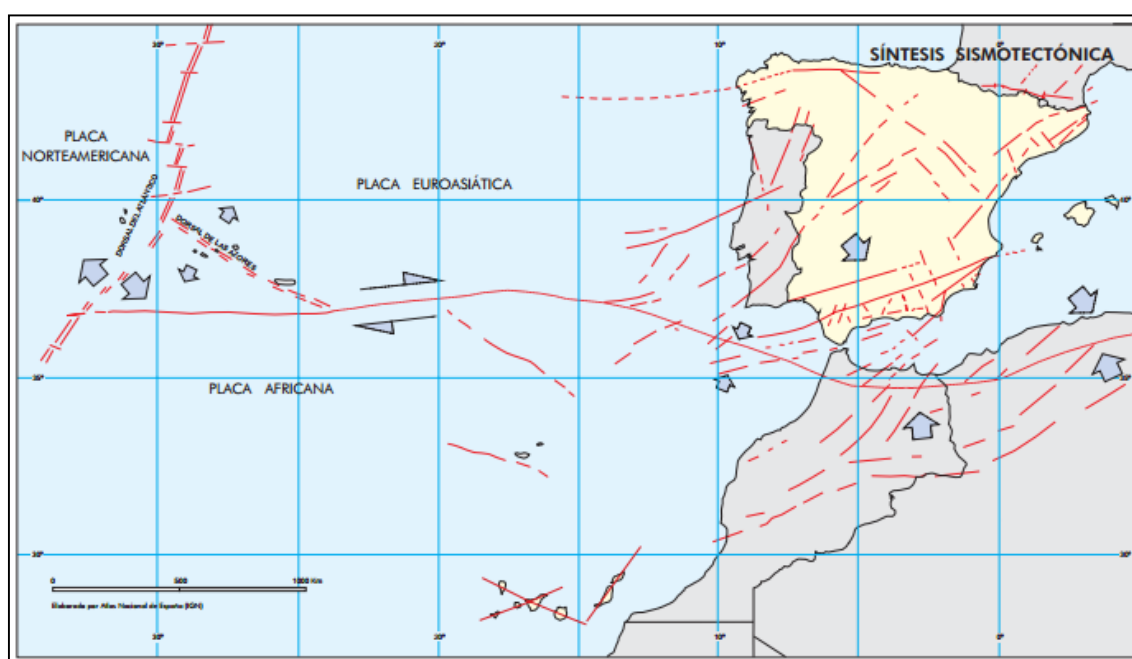


Figura 1. Síntesis Sismotectónica. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

La actividad sísmica en España es relevante y a pesar de que no exista un área de terremotos grandes, a lo largo de la historia se han producido en España una serie de terremotos importantes con sismos de magnitudes inferiores a 7,0 grados capaces de generar daños graves.

Estos terremotos se producen en fallas o estructuras tectónicas que separan dos partes de la corteza terrestre que se mueven entre sí. Las fallas más importantes de España que presentan evidencias de actividad durante el Cuaternario están recogidas en

una base de datos gestionada por el Instituto Geológico y Minero de España (García-Mayordomo et al. 2012, IGME, Figura 2).



Figura 2. Mapa de fallas activas cuaternarias. Versión online: <http://info.igme.es/qafi/> (IGME).

En España, la actividad sísmica es más intensa en la zona sur-sureste, según se muestra en el mapa de sismicidad del Instituto Geográfico Nacional, organismo encargado del monitoreo sísmico y de la confección del catálogo sísmico con la información de los terremotos ocurridos en España y su entorno.

Esta información se recopila en una base de datos disponible en la página del Instituto Geográfico Nacional, ofreciendo información sobre los datos recopilados a lo largo de la historia, el momento en el que se produjeron los terremotos, su localización y tamaño. Además, se aporta información adicional sobre los efectos que causaron a la población y a las construcciones. Dichos datos son fundamentales para el estudio de terremotos futuros ya que a partir de ellos se puede deducir el tiempo de recurrencia y la intensidad máxima, además de parámetros complementarios como profundidad focal, efectos amplificadores del suelo, etc.



Entre los primeros grandes terremotos registrados de los que se tiene constancia, se encuentran:

El seísmo de Orihuela (Alicante) en 1048 durante el cual quedó destruida la mezquita de esta localidad y el terremoto de Andújar (Jaén), de los que se conoce su intensidad pero no la magnitud que alcanzaron.

En Tavernes de la Valldigna (Valencia) se registra un seísmo de 6,5 grados en la escala Richter en 1396. El 2 de Febrero de 1428 en Queralbs (Girona) se produce seísmo de gran intensidad que ocasiona 800 muertos y destruye totalmente la ciudad. En 1431, la Alhambra sufre grandes daños tras registrarse un temblor de 6,7 grados al sur de Granada. En 1504, un terremoto de 6,8 grados deja 32 muertos en Carmona (Sevilla) y numerosos daños materiales.

En 1522 se derrumban la mayor parte de las casas de Almería y Ugíjar (Granada) tras registrarse 6,5 grados en el mar de Alborán, dejando 1000 muertos tras el temblor.

En 1680 se registran 6,8 grados en Alhaurín el Grande (Málaga), en el que se ven afectadas diversas localidades.

En 1748, las localidades de Montesa, Sellent y Estubeny son completamente destruidas por un seísmo de 6,2 grados que ocasiona 38 muertos.

El 1 de Noviembre de 1775, fuera de las fronteras de España se produjo un terremoto de magnitud 8,5 al SW del Cabo de San Vicente que provocó la destrucción de la mayor parte de la ciudad de Lisboa y produjo un tsunami de casi 15m de altura afectando a Europa occidental y norte de África, produciendo 15.000 muertos.

La actividad sísmica en la península durante los siglos XIX y XX, comienza en 1804 donde se sucedieron hasta dos terremotos, uno de 6,7 grados en el Mar de Alborán causando graves daños en Motril, y otro de 6,4 grados en Dalías (Almería), destruyendo la mayoría de edificios de dicha localidad, además de Berja y Roquetas.

En 1829, un terremoto de 6,6 grados con epicentro en Torrevieja (Alicante) deja 389 muertos y la reedificación de Torrevieja y Guardamar.



En 1884, se produce un seísmo de 6,5 grados que destruye la población de Arenas del Rey (Granada) y ocasiona 839 pérdidas de vida.

El mayor terremoto hasta el momento se produce en Dúrcal (Granada) el 29 de marzo de 1954, alcanzándose 7 grados de magnitud.

En 1969 se produce el último gran terremoto con consecuencias directas en España, al registrarse un seísmo de 7,8 grados al SW del Cabo de San Vicente.

En la última década cabe destacar el terremoto de 2007, con epicentro al SW del Cabo de San Vicente con magnitud de 6,1 grados, y el producido en 2009 con magnitud de 6,3 grados sentido en Andalucía. Ambos seísmos no produjeron heridos ni daños importantes.

Uno de los más importantes es el producido el 11 de Mayo de 2001 en Lorca (Murcia), de magnitud 5,1 que ocasionó 9 muertos y graves daños estructurales en la localidad.

El más reciente y destacable es el producido el 23 de Febrero de 2015 en Ossa de Montiel (Albacete), donde se registra un seísmo de magnitud 5,2 el cual fue sentido en casi toda la península pero no causó daños.

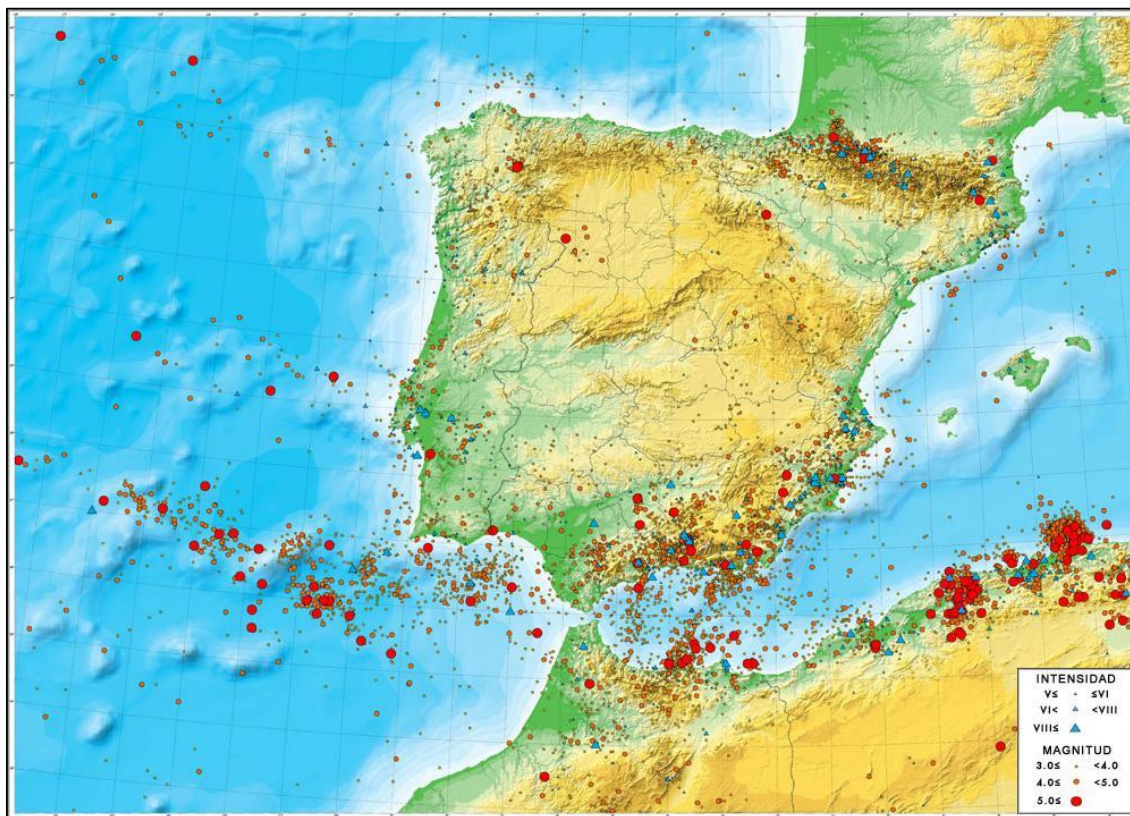


Figura 3. Mapa de sismicidad de la Península Ibérica y zonas próximas. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (2003). Los epicentros del periodo histórico entre los años 1048 y 1919 están representados mediante valores de intensidad sísmica, mientras que los correspondientes al periodo instrumental 1920-2003, se representan por valores de magnitud.

2.2 NORMAS Y REFERENCIAS

El marco legal sobre el que se sustentan los estudios de riesgo en España para la gestión de emergencias y prevención de catástrofes para fenómenos sísmicos se componen de una serie de leyes y Decretos:

- Ley 2/1985, de 21 de enero, de Protección Civil (BOE, 21/01/85).
- Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, por el que se aprueba la Norma Básica de Protección Civil (BOE 01/05/92).
- Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico (BOE, 25/05/95).



- Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la nueva Norma de construcción sismorresistente, NCSE-02 (BOE 11/10/02).
- Modificación de la Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo sísmico, aprobada por el Acuerdo del Consejo de Ministros, de 7 de abril de 1995 (BOE 02/10/04).

NORMA	BOE	DEROGACIÓN
PGS-1	04/02/1969	21/11/1974
PDS-1	21/11/1974	09/02/1995
NCSE-92	08/02/1995	12/10/2002
NCSE-02	11/10/2002	Vigente
NCSP-07	02/06/2007	Vigente

Figura 4. Normas de Construcción existentes en España.

Como referencias a otros proyectos ya realizados, que han servido de guía para este trabajo, han de mencionarse:

- Proyecto de “Riesgo Sísmico de la Comunidad Autónoma de Murcia” (RISMUR, 2006) encargado por el Instituto Geográfico Nacional al grupo de investigación de ingeniería sísmica (GIIS) de la UPM. El estudio abarca desde la caracterización de la acción sísmica hasta la estimación de daños ante el movimiento esperado con periodo de retorno de 475 años.
- Proyecto OPPEL (2012), desarrollado por el grupo de investigación de ingeniería sísmica (GIIS) de la UPM y el Instituto Geográfico Nacional, que realiza un estudio de peligrosidad, generando un nuevo mapa de amenaza para una futura Norma de Construcción Sismorresistente Española.
- Proyecto europeo Risk-UE (2003), en el que se ha diseñado una metodología avanzada para la evaluación de escenarios de riesgo sísmico para la aplicación a distintas ciudades europeas.
- Proyecto de “Evaluación la Peligrosidad y el Riesgo Sísmico en Andalucía SISMOSAN (2007).



2.3 FUNDAMENTOS ENTORNO AL RIESGO SÍSMICO

2.3.1 Elementos de análisis del riesgo sísmico

Según la definición propuesta por la U.N.E.S.C.O. (1980) el riesgo sísmico se puede expresar de manera sintética como:

$$RIESGO = PELIGROSIDAD \times VULNERABILIDAD \times EXPOSICIÓN \times COSTE$$

El Riego sísmico se define como la función de probabilidad de pérdidas derivadas de los daños a un elemento o conjunto de elementos (pe. una ciudad) como consecuencia de la acción de terremotos (López Arroyo y Villacañas, 1999). Es, por tanto, función, en cada caso, de las características de esta acción y de la respuesta a ella de los elementos en riesgo. En otras palabras, el riesgo sísmico es la probabilidad de que las consecuencias sociales o económicas producidas por un terremoto igualen o excedan valores predeterminados para una localización o área geográfica dada, y se estima mediante la convolución entre la peligrosidad y la vulnerabilidad correspondiente a cada nivel de severidad considerado para el sismo, siendo las consecuencias de tipo físico, económico, humano, etc.

En el texto "Mitigación de desastres en las instalaciones de salud. Evaluación y reducción de la vulnerabilidad física y estructural" preparado por la Organización Panamericana de la Salud, y derivadas del reporte "Desastres naturales y análisis de vulnerabilidad" (UNDRO-UNESCO), aparecen las siguientes definiciones aceptadas mundialmente:

Amenaza o peligrosidad: Probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo y en un sitio dado. Matemáticamente la amenaza está expresada como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con cierta intensidad, en un cierto sitio y en cierto periodo de tiempo. Amenaza y peligro serán considerados sinónimos.

Vulnerabilidad: Grado de pérdida de un elemento o grupos de elementos bajo amenaza, resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso.



Elementos expuestos: Es el conjunto formado por: la población, las obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y las infraestructuras expuestas a una amenaza en un área determinada.

Coste: valor económico asignado a los elementos dañados, que se puede asociar al coste de la reparación de los daños. Puede cuantificarse en niveles, grados o índices de daño o en valor económico de su restauración o reposición o bien pueden ser pérdida de vidas humanas producidas por la ocurrencia de un terremoto, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de las edificaciones e infraestructuras.

La diferencia fundamental entre la peligrosidad y el riesgo radica en que la amenaza está relacionada con la manifestación de un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo está relacionado con las consecuencias de esos eventos. Estas consecuencias están relacionadas no sólo con el grado de exposición de los elementos sometidos, sino con la vulnerabilidad de dichos elementos a ser afectados por el evento.

Por lo tanto, el riesgo se define como una composición de probabilidades basadas en la ocurrencia de movimientos sísmicos capaces de causar daños según la frecuencia con la que actúan y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

El cálculo del riesgo sísmico es un factor importante para la planificación de construcciones, especialmente hospitales, escuelas, plantas nucleares, etc., situada en zonas de sismicidad elevada. A pesar de que es posible construir edificios que resistan cualquier tipo de sismo, generalmente no es costeable hacerlo, principalmente en países subdesarrollados.



2.3.2 Escala Macrosísmica Europea (EMS-98)

Las escalas macrosísmicas miden los efectos de un terremoto sobre el terreno, las personas y las construcciones, y por tanto sirven para evaluar la capacidad destructiva de un terremoto. En España, la escala utilizada es la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98), que surge al inicio de la década de los noventa sobre la base de los principios postulados en la escala MSK-64 (Medvedev-Sponheuer-Karnik).

2.3.2.1 Clasificación de la vulnerabilidad

Para clasificar la edificación existente, la Escala Macrosísmica Europea establece 6 clases de vulnerabilidad (A, B, C, D, E y F) representando un incremento lineal de la resistencia a un sismo de las edificaciones. Las escalas EMS y MSK corresponden básicamente a la misma definición, dando la EMS mayor precisión en los términos de cantidad y en las definiciones de los tipos de construcciones menos vulnerables, particularmente se incluyen nuevas clases D, E y F que tienen en cuenta la incorporación del diseño sismorresistente en las construcciones.

Tabla 1. *Tabla de Vulnerabilidad. Diferencia las estructuras edificatorias en clases de vulnerabilidad. EMS-98 (G. Grünthal).*



Tipo de Estructura	Clase de Vulnerabilidad					
	A	B	C	D	E	F
MAMPOSTERÍA	Paredes de peña viva / roca de cantera	O				
	Adobe (ladrillo de tierra)	O—				
	Roca simple	—O				
	Roca masiva		—O—			
	Unidades de roca manufacturada	—O—				
	Ladrillo no reforzado, pisos de HA		—O—			
	Reforzado o confinado			—O—		
HORMIGÓN ARMADO (HA)	Armazón sin diseño sismorresistente (DSR)	—O—				
	Armazón con un nivel moderato de DSR		—O—			
	Armazón con un alto nivel de DSR			—O—		
	Paredes sin DSR		—O—			
	Paredes con un nivel moderato de DSR			—O—		
	Paredes con un nivel alto de DSR				—O—	
ACERO	Estructuras de acero			—O—		
MADERA	Estructuras de madera		—O—			

Para conocer la tipología constructiva en España, en función de las clases de vulnerabilidad definidas en la Tabla 1, se realiza la siguiente descripción:

- Estructuras de mampostería

En ellas se incluyen los edificios de paredes de peña viva/roca de cantera, son edificios generados con mortero de mala calidad, pesados y con poca resistencia a cargas laterales.



**EMS-98
VULNERABILIDAD
A**

***Figura 5.**Edificio de mampostería en piedra. Vulnerabilidad A. Fuente: RISMUR.*

También se encuentran los edificios de adobe o ladrillo de tierra, que poseen muros rígidos y débiles, pudiendo mejorar su calidad si se incluye ladrillo o madera. El techo es un factor importante, siendo a más pesado más peligroso.



**EMS-98
VULNERABILIDAD
A**

***Figura 6.**Edificio de mampostería de adobe. Vulnerabilidad A. Fuente: RISMUR.*

Los edificios de roca simple, son rocas labradas colocadas técnicamente para mejorar la resistencia de la estructura.



EMS-98
VULNERABILIDAD
B

Figura 7. Edificio de mampostería de roca simple. Por H. Tiedemann (Swiss Reinsurance Company, Zúrich). Fuente: EMS-98.

Los edificios de roca masiva, con rocas muy grandes, son normalmente construcciones monumentales.

Los edificios de ladrillo no reforzado o bloques de hormigón es tipo de estructura muy común que suelen encontrarse en malas condiciones.



EMS-98
VULNERABILIDAD
B

Figura 8. Edificio de mampostería de ladrillo. Vulnerabilidad B. Fuente: RISMUR.

Los edificios de ladrillo no reforzado con pisos de hormigón armado (HA) se comportan mejor que las viviendas normales de ladrillo ya que los elementos horizontales son importantes para la determinación de la resistencia de la estructura respecto a las cargas laterales.



EMS-98
VULNERABILIDAD
C

Figura 9. Edificio de ladrillo con forjados de hormigón. Vulnerabilidad C. Fuente: RISMUR.

Por último, dentro de las estructuras de mampostería encontramos las estructuras de ladrillo reforzado y mampostería confinada, donde se insertan barras o mallas de acero en el mortero para crear muros resistentes y dúctiles.



EMS-98
VULNERABILIDAD
C

Figura 10. Edificio de pilares y forjados de HA. Vulnerabilidad C. Fuente: RISMUR.

- Estructuras de hormigón armado (HA)

En este tipo de construcción se realiza una división en base al nivel de diseño sismorresistente, ya que la vulnerabilidad sísmica de los armazones se ve afectada por su regularidad, calidad y fabricación.



**EMS-98
VULNERABILIDAD
C-D**

Figura 11. Edificio de muros de HA. Vulnerabilidad C-D. Fuente: RISMUR.

- Estructuras de acero

La estructura principal de los edificios es un armazón de acero, lo que indica un alto nivel de sismorresistencia.



**EMS-98
VULNERABILIDAD
D**

Figura 12. Estructuras metálicas. Vulnerabilidad D. Fuente: RISMUR.

- Estructuras de madera

Varía en función de las condiciones en las que se encuentre la estructura, pero en general, la flexibilidad proporciona mayor resistencia a los daños.



EMS-98
VULNERABILIDAD
E

Figura 13. Edificio con estructura de madera. Vulnerabilidad E. Fuente: RISMUR.

La escala EMS también considera tres grados de sismorresistencia: Bajo (DSR-B), Medio (DSR-M) y Alto (DSR-A).

El Grado de Diseño Sismorresistente Alto representa un alto índice de protección, es característico de zonas de elevada sismicidad y alto nivel tecnológico, y es equivalente a las clases de vulnerabilidad E y F. Este grado es casi inexistente en España.

El Grado de Diseño Sismorresistente Medio representa un índice de protección medio en zonas de sismicidad moderada, es equivalente a los tipos de vulnerabilidad D y E. En España, los edificios que reúnen estas características están situados en las zonas de mayor sismicidad.

El Grado de Diseño Sismorresistente Bajo representa un índice de protección bajo en zonas de baja sismicidad, donde las cargas sísmicas son bajas y las exigencias de diseño de estructuras no son elevadas. Es equivalente al tipo de vulnerabilidad C. Gran cantidad de las estructuras edificatorias en España son de este tipo, construidas en las décadas de los 50, 60 y 70.



2.3.2.2 Clasificación de la intensidad

La escala EMS-98 propone una escala de intensidad. Consta de doce grados (I - XII) y en ella se puede interpretar tanto la peligrosidad como el daño sísmico. Los términos de cantidad que se han utilizado para la definición de grados de intensidad corresponden aproximadamente a éstos porcentajes: algunos 5%, muchos 50%, la mayoría 75%.

En este trabajo, se clasificará la severidad de un movimiento del suelo en función de los efectos observados en un área determinada aplicando el término de intensidad, es decir, se utilizará la intensidad macrosísmica como parámetro que define la acción sísmica.

Para definir la estructura de la escala en función de los grados de intensidad se distinguen tres apartados:

- a) Efectos en las personas
- b) Efectos en objetos o en la naturaleza
- c) Daños a edificios

Tabla 2. Definiciones de grados de intensidad. Escala Macrosísmica Europea (G. Grünthal, 1998).

Grado EMS	Definición	Descripción de los efectos observados
I	No sentido	a) No sentido, aun en las condiciones más favorables. b) Sin efecto. c) Sin daños.
II	Apenas sentido	a) El temblor es sentido sólo en casos aislados (< 1%) por individuos en reposo y en una posición especialmente receptiva en el interior de un edificio o vivienda. b) Sin efecto. c) Sin daños.
III	Débil	a) El temblor es sentido en el interior de viviendas y edificios por algunas pocas personas. Las personas en reposo sienten un balanceo lento o temblor leve. b) Los objetos colgantes se mecen levemente. c) Sin daños.



IV	Ampliamente observado	<p>a) El temblor es sentido por muchas personas en el interior y sólo por pocos en el exterior de viviendas o edificios. Algunas personas se despiertan. El nivel de vibración no es alarmante. La vibración es moderada. Los observadores sienten un leve temblor o balanceo del edificio, dormitorio, cama, silla, etc.</p> <p>b) La porcelana, vasos, ventanas y puertas traquetean. Los objetos colgantes se balancean. Los muebles ligeros vibran notablemente en algunos pocos casos. En algunos casos los objetos de carpintería crujen.</p> <p>c) Sin daños.</p>
V	Fuerte	<p>a) El temblor es sentido por la mayoría en el interior y por pocos en el exterior de viviendas o edificios. Algunas pocas personas se asustan y corren al exterior. Muchas personas se despiertan. Los observadores sienten una fuerte vibración del edificio, dormitorio o de los muebles.</p> <p>b) Los objetos colgantes se mecen considerablemente. La porcelana y los vasos entrechocan y repiquetea. Los objetos pequeños que son más pesados en su parte alta o bien los objetos que se sostienen de forma precaria se pueden mover o caer. Las puertas y ventanas se abren o se cierran. En algunos pocos casos los cristales de las ventanas se pueden quebrar. Los líquidos oscilan y se pueden derramar de contenedores llenos hasta el borde. Los animales en el interior se pueden inquietar.</p> <p>c) Daños de grado 1 en algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad A y B.</p>
VI	Causa daños leves	<p>a) El temblor es sentido por la mayoría en el interior y por muchos en el exterior de viviendas o edificios. Algunas personas pierden el equilibrio. Muchas personas se asustan y corren al exterior.</p> <p>b) Los objetos pequeños de estabilidad normal pueden caerse y los muebles pueden desplazarse. En algunos casos se pueden romper platos y vasos. Los animales de granja se pueden asustar.</p> <p>c) Daños de grado 1 a muchos edificios de clase de vulnerabilidad A y B; algunos pocos de clase A y B sufren daños de grado 2; algunos pocos de la clase C sufren daños de grado 1.</p>
VII	Causa daños	<p>a) La mayoría de las personas se asustan y tratan de correr hacia el exterior. A muchos les cuesta mantenerse de pie, especialmente en los pisos altos.</p> <p>b) Los muebles se desplazan y los muebles que son más pesados en su parte superior pueden volcarse. Se caen los objetos de los estantes en gran número. El agua salpica en los contenedores, tanques y piscinas.</p> <p>c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3. Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de</p>



		grado 2. Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 1.
VIII	Causa daños severos	a) Mucha gente encuentra difícil mantenerse de pie, incluso en el exterior. b) Los muebles pueden volcarse. Se caen los objetos tales como televisiones, máquinas de escribir, etc. Las lápidas pueden desplazarse o caerse. Se pueden ver ondas en suelos muy suaves. c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3. Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2.
IX	Destruutivo	a) Pánico general. El terremoto tira a la gente al suelo. b) Muchos monumentos y columnas se caen o se retuercen. Se ven ondas en suelos suaves. c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3. Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 2.
X	Muy destructivo	c) La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3. Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad F sufren daños de grado 2.



XI	Devastador	c) La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 5. La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4 y muchos de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad F sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.
XII	Totalmente devastador	c) Todos los edificios de clase de vulnerabilidad A, B y prácticamente todos los de clase C quedan destruidos. La mayoría de los edificios de las clases D, E y F quedan destruidos. Los efectos del terremoto alcanzan los efectos máximos concebibles.

2.3.2.3 Clasificación del daño

Se definen diferentes estados de daño de la edificación empleando términos o definiciones cualitativas que sirven para indicar el daño global de una edificación determinada, constituyendo una medida discreta del nivel de deterioro que puede sufrir una edificación. La Escala Macrosísmica Europea describe una escala de efectos relacionados directamente con los daños identificados en las edificaciones tras una inspección post-terremoto, definiendo 5 grados de daño global de forma ascendente dependiendo de la tipología de la edificación (mampostería, hormigón armado, acero o madera), añadiendo el grado nulo o grado 0.

Tabla 3. Escala de grados de daño según la EMS-98 (G.Grünthal, 1998).

Grado de Daño	Descripción Cualitativa	Daño Estructural	Daño no Estructural
0	Sin daño	Sin daño	Sin daño
1	Leve o despreciable	Sin daño	Ligero
2	Moderado	Ligero	Moderado
3	Sustancial o Severo	Moderado	Severo
4	Muy Severo	Severo	Muy Severo
5	Destrucción	Muy Severo	---



2.3.3 Matrices de Probabilidad de Daño

A partir de las definiciones de intensidad con relación al daño descritas en la Tabla 2, se generaron las Matrices de Probabilidad de Daño (MPD), que permiten traducir el movimiento esperado a porcentajes de daño. Estas matrices se crearon fundamentalmente a partir de datos del terremoto de Irpinia de 1980 (Chávez, 1998).

Cada celda de la matriz, corresponde a una estimación del porcentaje de edificaciones que experimentará cada grado de daño para cada nivel de movimiento.

Tabla 4. Matrices de Probabilidad de Daño (MPD). Chávez 1998.

CLASE DE VULNERABILIDAD A

I (MSK)	GRADO DE DAÑO					
	D0	D1	D2	D3	D4	D5
5	0,441	0,392	0,140	0,025	0,002	0,000
5,5	0,325	0,388	0,212	0,065	0,011	0,001
6	0,209	0,384	0,283	0,104	0,019	0,001
6,5	0,145	0,324	0,314	0,165	0,047	0,005
7	0,080	0,263	0,346	0,227	0,074	0,010
7,5	0,045	0,169	0,287	0,286	0,168	0,045
8	0,010	0,075	0,227	0,346	0,262	0,080
8,5	0,005	0,040	0,136	0,268	0,336	0,215
9	0	0,005	0,044	0,191	0,409	0,351
9,5	0	0,003	0,023	0,103	0,296	0,575
10	0	0	0,001	0,017	0,184	0,798



CLASE DE VULNERABILIDAD B

I (MSK)	GRADO DE DAÑO					
	D0	D1	D2	D3	D4	D5
5	0,670	0,279	0,047	0,004	0	0
5,5	0,556	0,336	0,094	0,015	0,001	0
6	0,441	0,392	0,140	0,025	0,002	0
6,5	0,325	0,388	0,211	0,064	0,011	0,001
7	0,209	0,384	0,283	0,104	0,019	0,001
7,5	0,145	0,323	0,314	0,165	0,047	0,006
8	0,080	0,263	0,346	0,227	0,074	0,010
8,5	0,045	0,169	0,287	0,286	0,168	0,045
9	0,010	0,075	0,227	0,346	0,262	0,080
9,5	0,005	0,040	0,136	0,268	0,336	0,215
10	0	0,005	0,044	0,191	0,409	0,351

CLASE DE VULNERABILIDAD C

I (MSK)	GRADO DE DAÑO					
	D0	D1	D2	D3	D4	D5
5	0,755	0,218	0,025	0,001	0	0
5,5	0,713	0,025	0,036	0,003	0	0
6	0,670	0,279	0,047	0,004	0	0
6,5	0,556	0,336	0,093	0,014	0,001	0
7	0,441	0,392	0,140	0,025	0,002	0
7,5	0,325	0,388	0,211	0,064	0,011	0,001
8	0,209	0,384	0,283	0,104	0,019	0,001
8,5	0,144	0,324	0,314	0,165	0,047	0,006
9	0,080	0,263	0,346	0,227	0,074	0,010
9,5	0,045	0,169	0,287	0,286	0,168	0,045
10	0,010	0,075	0,227	0,346	0,262	0,080



CLASE DE VULNERABILIDAD D

I (MSK)	GRADO DE DAÑO					
	D0	D1	D2	D3	D4	D5
5	0,859	0,133	0,008	0	0	0
5,5	0,807	0,176	0,017	0,001	0	0
6	0,755	0,218	0,025	0,002	0	0
6,5	0,712	0,249	0,036	0,003	0	0
7	0,670	0,279	0,047	0,004	0	0
7,5	0,556	0,336	0,093	0,014	0,001	0
8	0,441	0,392	0,140	0,025	0,002	0
8,5	0,325	0,388	0,211	0,064	0,011	0,001
9	0,209	0,384	0,283	0,104	0,019	0,001
9,5	0,144	0,324	0,314	0,165	0,047	0,006
10	0,080	0,263	0,346	0,227	0,074	0,010

CLASE DE VULNERABILIDAD E

I (MSK)	GRADO DE DAÑO					
	D0	D1	D2	D3	D4	D5
5	0,859	0,133	0,008	0	0	0
5,5	0,840	0,147	0,014	0	0	0
6	0,820	0,160	0,020	0	0	0
6,5	0,785	0,190	0,025	0	0	0
7	0,750	0,220	0,030	0	0	0
7,5	0,705	0,255	0,040	0	0	0
8	0,660	0,290	0,050	0	0	0
8,5	0,551	0,341	0,095	0,013	0,001	0
9	0,441	0,392	0,140	0,025	0,002	0
9,5	0,331	0,391	0,210	0,058	0,011	0
10	0,220	0,390	0,280	0,090	0,020	0



METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

3.1 CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS GEORREFERENCIADA

Para el estudio del riesgo se configura una base de datos y se desarrolla el Sistema de Información Geográfica (SIG) que constituirá una herramienta esencial para la gestión de los datos y representación de los resultados. El proceso a desarrollar es el seguido en la Figura 14.

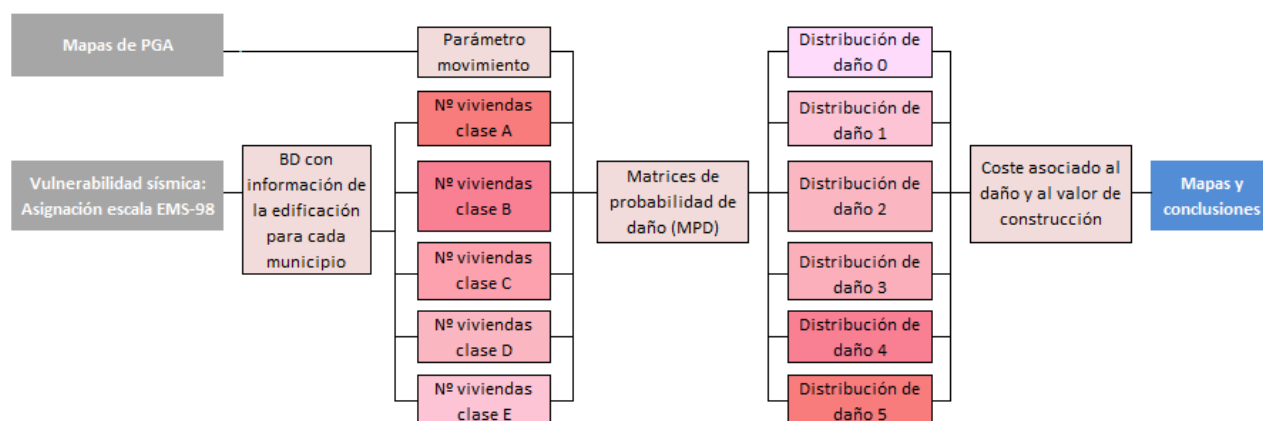


Figura 14. Organigrama a seguir para la evaluación del riesgo sísmico.

3.1.1 Mapas de peligrosidad sísmica

Para la caracterización de la acción sísmica de la que parte el estudio de riesgo sísmico municipal, se plantean dos fuentes: una de ellas corresponde a los valores de aceleración de los mapas de peligrosidad generados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), correspondiente a la Norma de Construcción Sismorresistente vigente en España (NCSE-02); y la otra corresponde a los valores de aceleración del nuevo mapa de peligrosidad sísmica generado por IGN – UPM con vistas a una futura actualización de la Norma.

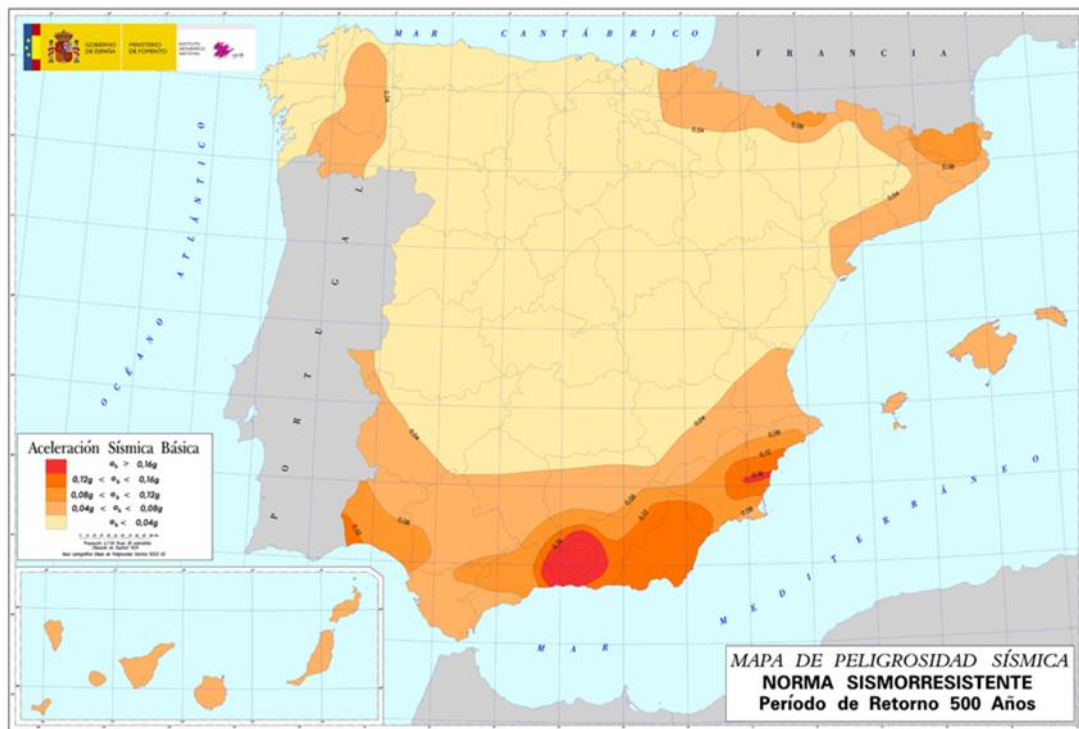


Figura 15. Mapa de Peligrosidad Sísmica de España en valores de PGA, para un periodo de retorno de 500 años de acuerdo a la NCSE-02.

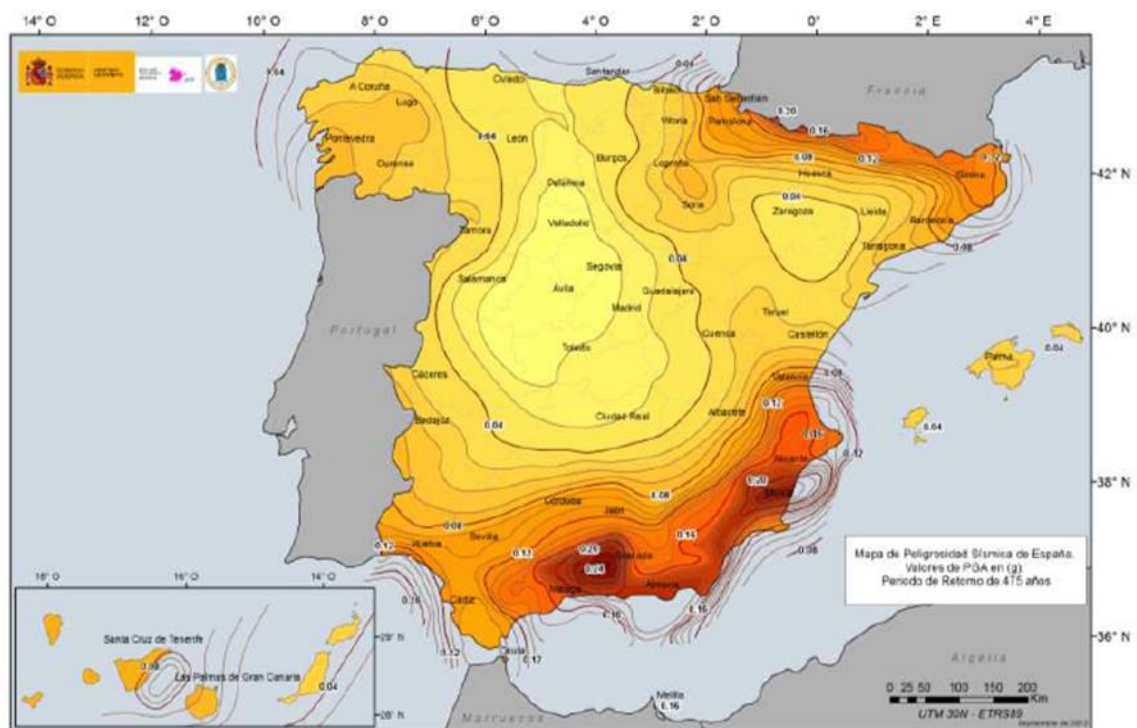


Figura 16. Mapa de Peligrosidad sísmica de España en valores de PGA, para un periodo de retorno de 475 años. Actualización de mapas de peligrosidad Sísmica de España 2012 (IGN-UPM).



Ambos mapas de peligrosidad muestran la componente horizontal de la aceleración para un periodo de retorno de 475 años, que corresponde a una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años. Este es el nivel de probabilidad utilizado para el diseño sismorresistente de edificios de importancia normal, como los edificios destinados principalmente a vivienda considerados en este Trabajo Fin de Grado, que son aquellos cuya destrucción por el terremoto puede ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos (NCSE, 2002).

A partir de la información que nos proporcionan ambos mapas se ha generado una base de datos depurada con los datos de aceleración en cada municipio. Las actualizaciones de la Norma son notables, ya que, en caso de adoptarse el nuevo mapa, algunas zonas de Cataluña, Galicia, Navarra y del País Vasco, las islas Baleares y Canarias, pasarían a formar parte de las regiones donde la aplicación de la normativa es obligatoria.

La acción sísmica obtenida tiene valores de aceleración mientras que la metodología propuesta necesita valores de intensidad para el posterior cálculo del daño. Para conocer la acción sísmica en valores de intensidad, en función de si la fuente es el mapa de peligrosidad de la NCSE-02 o del nuevo mapa de peligrosidad de OPPEL, se han seguido las siguientes relaciones:

- Relación aceleración-intensidad determinada a través de la NCSE-02:

$$\log_{10} a_b = 0,30103 I - 0.2321$$

$$I = \frac{3,2233 + \log 10 (a_b/g)}{0,30103}$$



- Relación aceleración-intensidad determinada a través del Proyecto OPPEL:

Tabla 5. Tabla de relación aceleración-intensidad del Proyecto OPPEL (IGN-UPM, 2013).

$I = 0,5 \cdot AK07 + 0,5 \cdot FM10$	
PGA (g)	I (EMS-98)
$\geq 0,005$	4
$\geq 0,015$	5
$\geq 0,049$	6
$\geq 0,098$	7
$\geq 0,196$	8
$\geq 0,392$	9

3.1.2 Elementos expuestos

Es necesario conocer el parque inmobiliario expuesto a este riesgo para poder realizar el análisis de vulnerabilidades, por lo que se genera una base de datos de elementos expuestos a partir de la documentación gratuita proporcionada por las fuentes de datos de organismos oficiales. A través de la página web del Instituto Nacional de Estadística (INE), se descarga la información referente al número de edificaciones residenciales que se han construido en función de su año de construcción. Esta información está recopilada en los datos del censo, cuya última actualización es del año 2011. La base de datos del INE limita esta información a los municipios con más de dos mil habitantes, por lo que del resto de localidades no se tiene información.

En España existen un total de 8.117 municipios, de los cuales 2.307 tienen más de dos mil habitantes, por lo que estos son los municipios de los cuales tenemos información referente a sus edificios residenciales. Por tanto, se estaría realizando el análisis del riesgo en el 28,4% de los **municipios** españoles. A pesar de que se examine el riesgo en aproximadamente una cuarta parte de los municipios existentes en España, éstos contienen el 89,9% de los **edificios** residenciales construidos (7.746.555 edificios), es decir, el ámbito del estudio cubre la gran mayoría de los edificios residenciales expuestos al riesgo sísmico en España.



Figura 17. Distribución de los datos disponibles de los edificios destinados principalmente a viviendas según la información de las bases de datos del INE.

Todos los datos proporcionados por el INE están en formato *.px. Para su lectura se ha descargado el programa PC-Axis, y posteriormente guardados en formato *.xlsx (Excel) para su tratamiento.

3.1.3 Superficie construida y coste de referencia

La estimación del valor económico o coste asociado a la reparación de daños físicos se basa en conocer, por un lado, la superficie construida del parque edificatorio en cada municipio, y por otro lado, el coste de referencia o valor en euros del metro cuadrado construido en cada uno de los municipios.

Para obtener esta información, se ha descargado de la base de datos del INE la información referente al número de hogares según su superficie útil para cada municipio de la base de datos de elementos expuestos.

Por otro lado, el Colegio Oficial de Arquitectos de cada provincia proporciona un módulo básico de construcción o coste de referencia, a partir del cual, en función de las características del municipio, se aplica un índice o multiplicador que aumenta o disminuye su valor, obteniendo finalmente el valor del euro por metro cuadrado de construcción para cada localidad.



Con esta información se asignará, según la metodología expuesta a continuación, el coste asociado al valor de reconstrucción de los edificios dañados, en función del grado de daño esperado.

3.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA

Tras establecer la amenaza sísmica sobre cada municipio, se debe evaluar la vulnerabilidad edificatoria ante dicha amenaza, es decir, la afectación que tendrán las estructuras ante la ocurrencia de un sismo.

Para evaluar la vulnerabilidad nos hemos basado en las tablas desarrolladas en los proyectos RISMUR y SISMOSAN, en las que se asigna el porcentaje de edificios construidos de cada clase de vulnerabilidad en función a una estimación de la tipología constructiva de cada época.

Tabla 6. Matriz de pertenencia a las clases de vulnerabilidad. Aplica porcentajes de edificaciones construidas para cada clase de vulnerabilidad en función del año de construcción. Elaboración propia a partir de las tablas desarrolladas en RISMUR y SISMOSAN.

	<1900	1900	1921	1941	1951	1961	1971	1981	1991 - 2001			2002 - 2011		
		a 1920	a 1940	a 1950	a 1960	a 1970	a 1980	a 1990	$a_b \geq 0.16$	$0.16 > a_b > 0.08$	$a_b \leq 0.08$	$a_b \geq 0.16$	$0.16 > a_b > 0.08$	$a_b \leq 0.08$
A	0,8	0,72	0,72	0,69	0,46	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0,2	0,28	0,28	0,28	0,49	0,38	0,45	0,38	0	0,25	0,34	0	0,1	0,21
C	0	0	0	0,03	0,05	0,44	0,55	0,62	0	0,55	0,62	0	0,5	0,44
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,2	0,04	0,25	0,4	0,35
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0	0	0,75	0	0

Como se observa en la Tabla 6, a partir del año 1991, se distinguen los municipios con aceleraciones contenidas en los siguientes intervalos:

- Municipios cuya aceleración excede o iguala el valor de 0,16g.
- Municipios cuya aceleración pertenece al intervalo entre 0,08g y 0,16g.
- Municipios cuya aceleración es inferior o igual a 0,08g.



Esta diferencia es generada debido a que, en el año 1994 se establece la Norma de Construcción Sismorresistente(1994),actualizada y vigente en la actualidad (NCSE-02),comenzando a aplicarse las prescripciones técnicas constructivasde obligado cumplimiento con el fin de que la creación de nuevas construcciones dependa de la peligrosidad sísmica de la zona, siendo menos vulnerables en las zonas en las que la aceleración esperada sea mayor.

El resultado de aplicar laTabla 6a la base de datos de elementos expuestos, esla obtención del número total de edificaciones residenciales correspondientes a cada clase de vulnerabilidad para cada municipio,según la clasificación de vulnerabilidad edificatoria propuesta en la EMS-98. Para conocer la distribución en España de dicha clasificación se han representado los siguientes mapas.

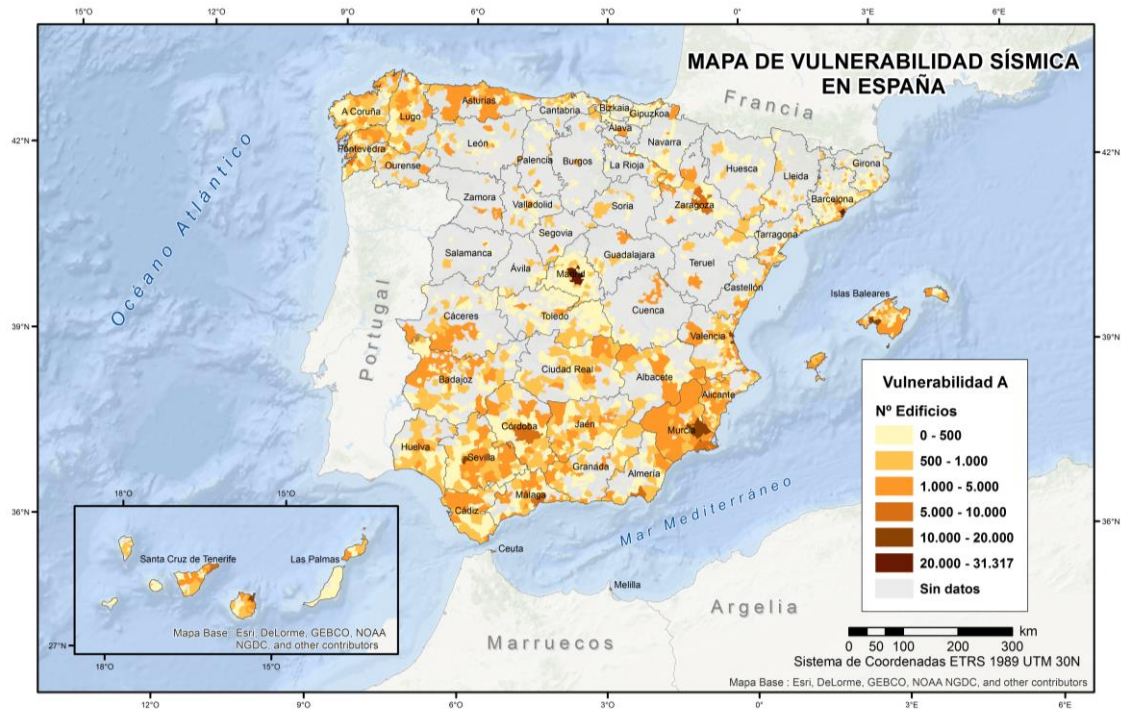


Figura 18. Mapa correspondiente al número de edificios de clase de vulnerabilidad A.

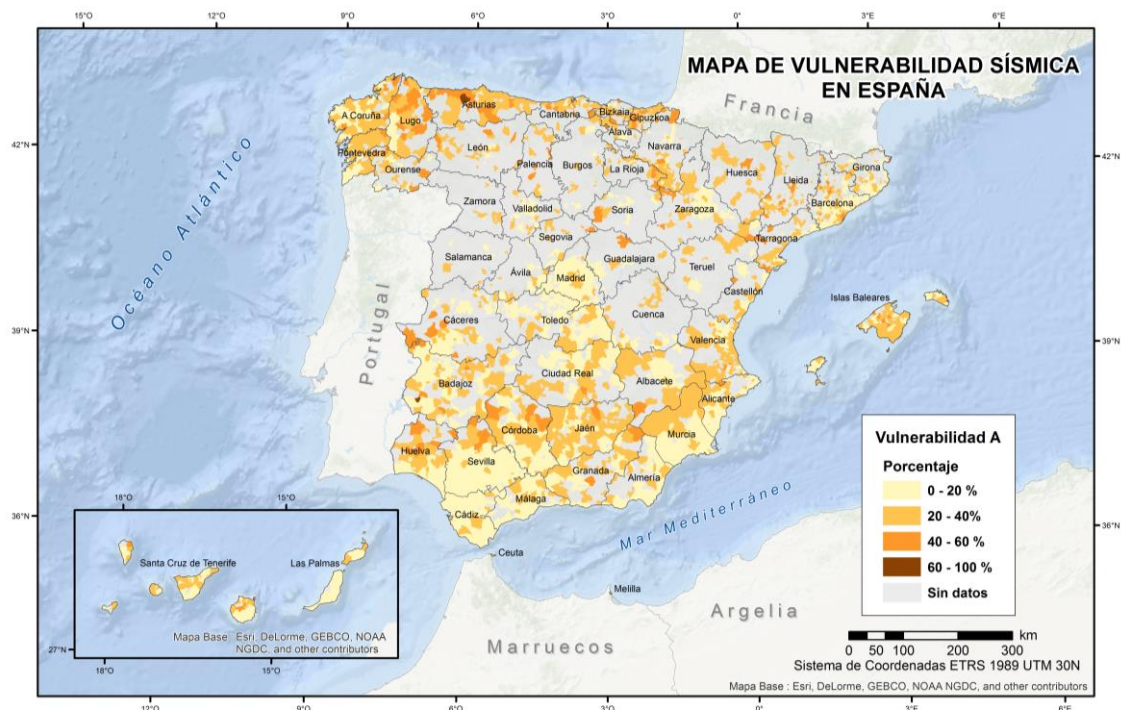


Figura 19. Mapa correspondiente al porcentaje de edificios respecto al total de clase de vulnerabilidad

A.

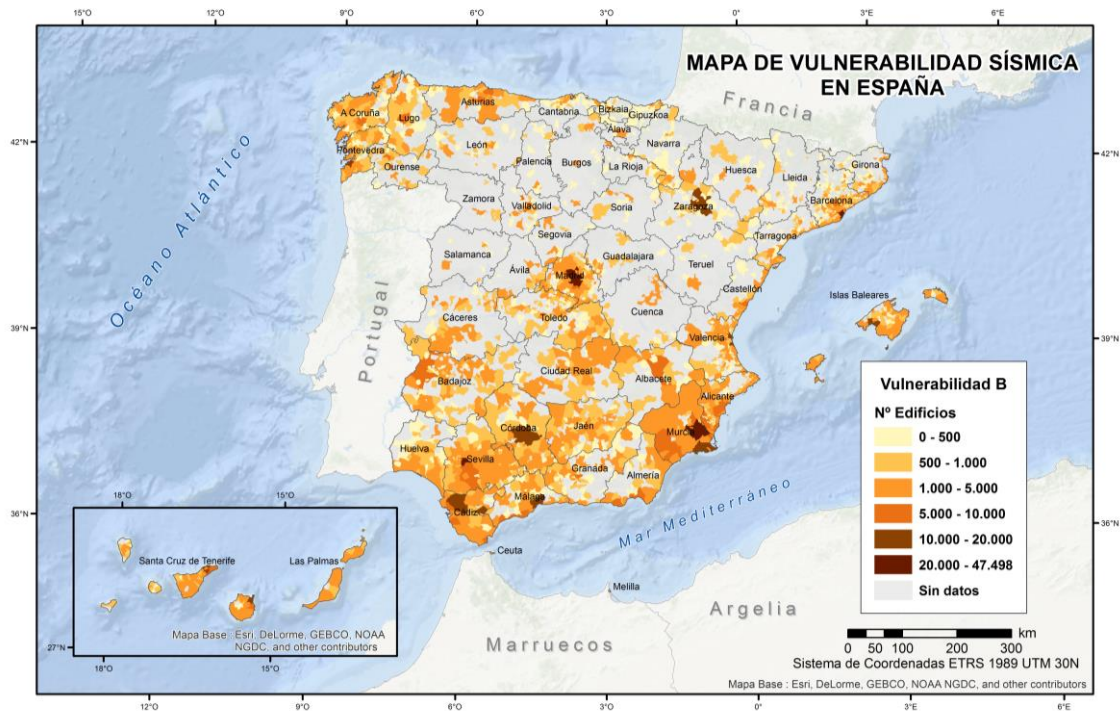


Figura 20. Mapa correspondiente al número de edificios de clase de vulnerabilidad B.

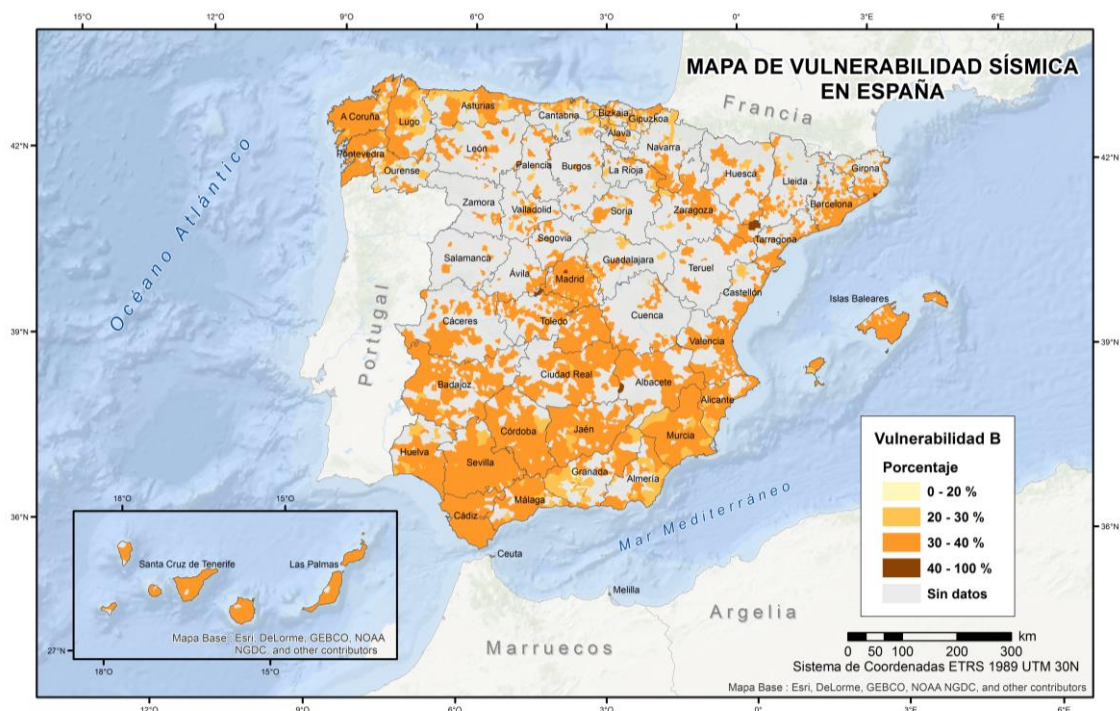


Figura 21. Mapa correspondiente al porcentaje de edificios respecto al total de clase de vulnerabilidad B.

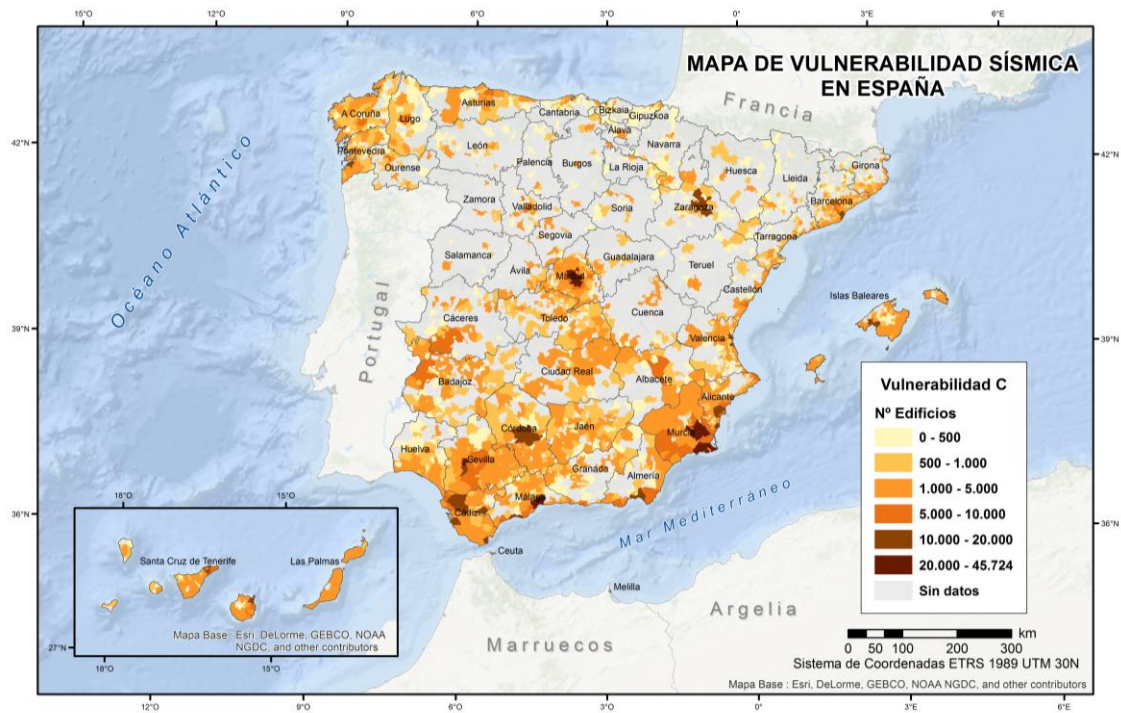


Figura 22. Mapa correspondiente al número de edificios de clase de vulnerabilidad C.

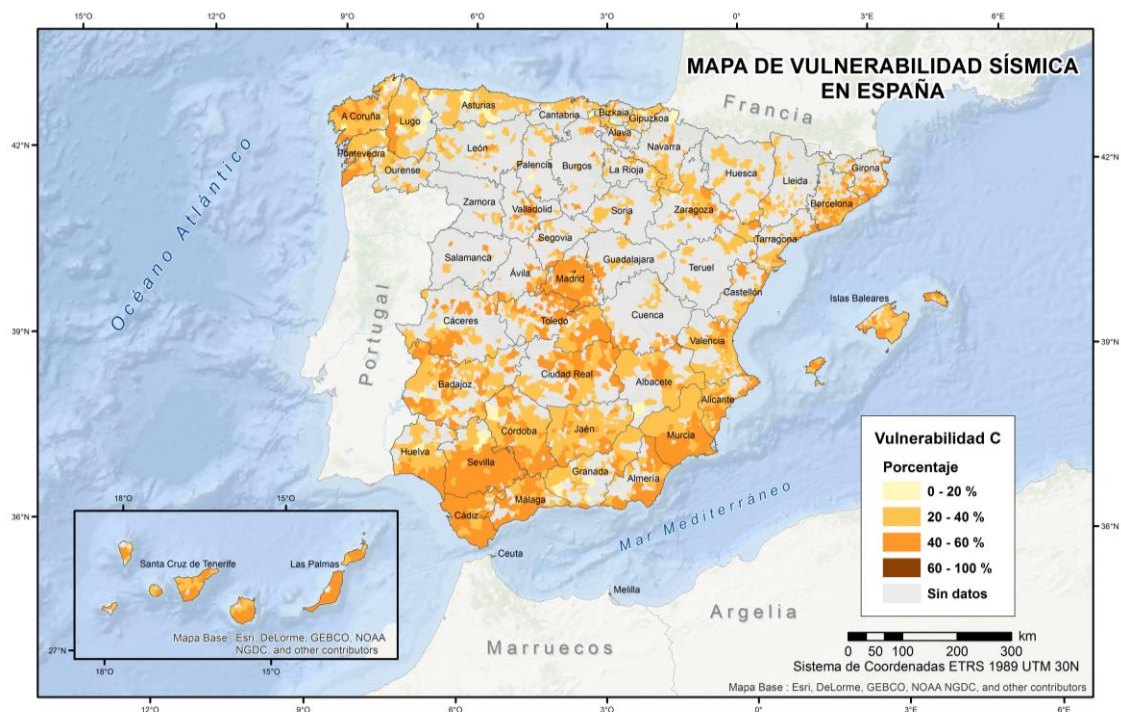


Figura 23. Mapa correspondiente al porcentaje de edificios respecto al total de clase de vulnerabilidad C.

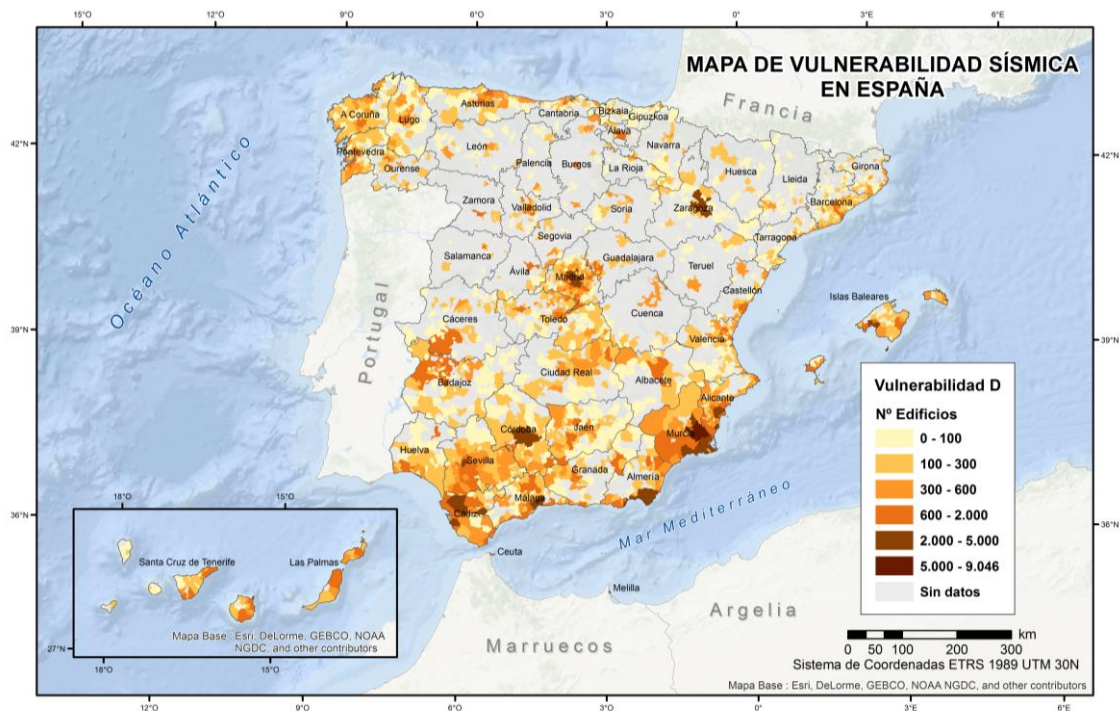


Figura 24. Mapa correspondiente al número de edificios de clase de vulnerabilidad D.

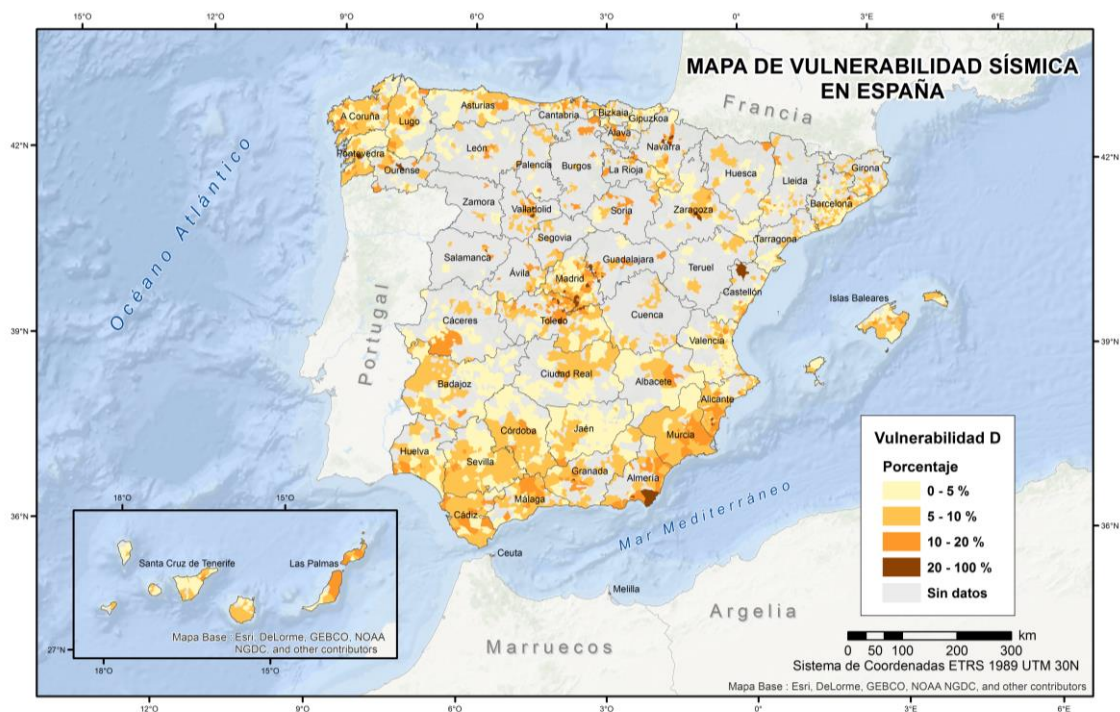


Figura 25. Mapa correspondiente al porcentaje de edificios respecto al total de clase de vulnerabilidad D.

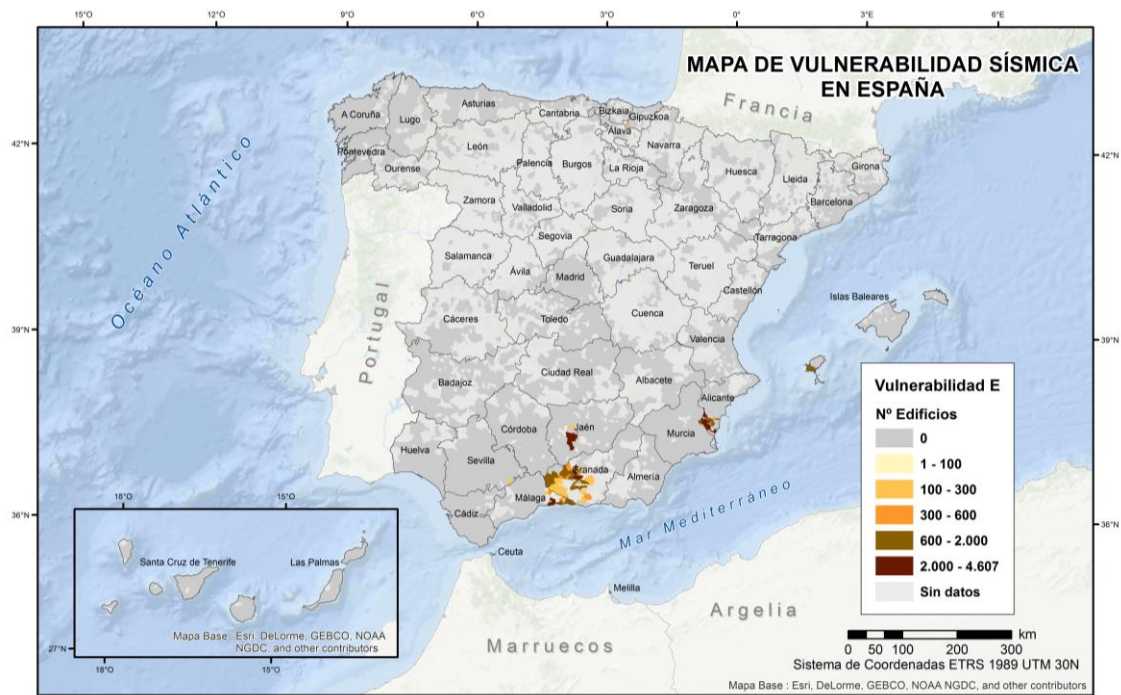


Figura 26. Mapa correspondiente al número de edificios de clase de vulnerabilidad E.

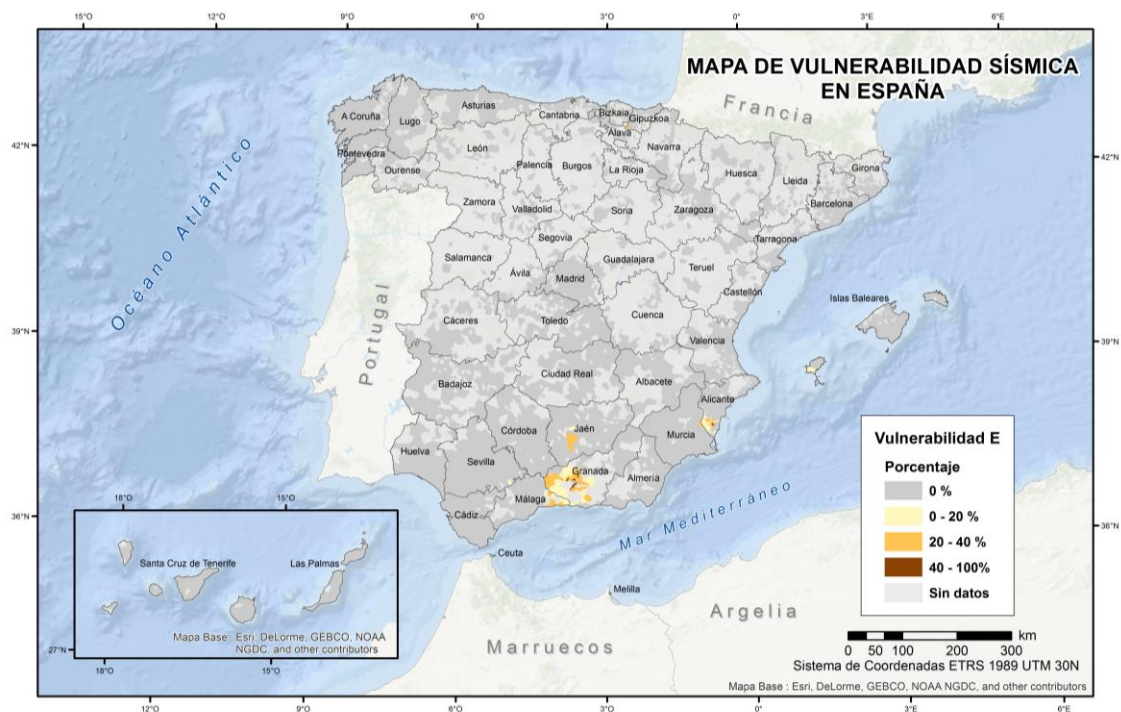


Figura 27. Mapa correspondiente al porcentaje de edificios respecto al total de clase de vulnerabilidad E.

Existen municipios en los que, debido al gran parque inmobiliario que poseen, disponen de una gran cantidad de edificios de todas las clases de vulnerabilidad (pe. Madrid), por lo tanto, a la hora de representar en los mapas su número de edificios correspondiente, se distinguen siempre por su color oscuro. Por tanto, para estimar la clasificación de vulnerabilidades en cada municipio con respecto al resto de municipios, se ha representado el porcentaje de edificios de cada clase de vulnerabilidad con respecto al total de clases, conociendo la proporción de edificios de cada clase.

Actualmente, la distribución de clases de vulnerabilidad existente en toda España es la representada en la Figura 28, conociendo con los mapas de las Figuras 19, 21, 23, 25 y 27 dónde hay mayor porcentaje de cada clase.

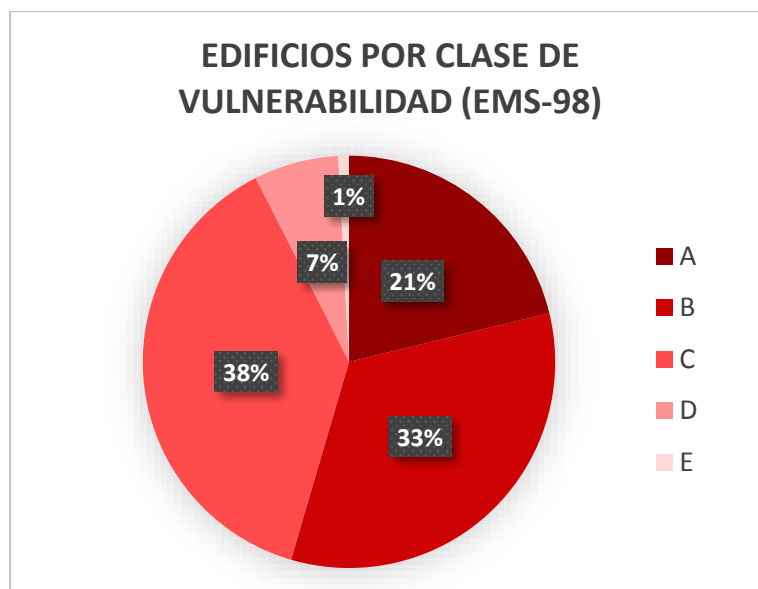


Figura 28. Representación del porcentaje de edificios construidos de cada clase de vulnerabilidad en España según la clasificación de la EMS-98.

Para simplificar la representación de la vulnerabilidad existente en España, clasificamos la vulnerabilidad obtenida mediante el Método del Índice de Vulnerabilidad, tal como se propone en el proyecto Risk-UE (método de nivel I).

Este método cuantifica la susceptibilidad de las edificaciones a sufrir daños mediante el cálculo de un índice de vulnerabilidad particular para cada municipio en función del número de edificaciones residenciales correspondientes a cada clase de

vulnerabilidad que posee, definidas según la clasificación de la EMS-98. Dicho índice se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$IV_T = \frac{N_A I_A + N_B I_B + N_C I_C + N_D I_D + N_E I_E}{N_T}$$

Siendo:

$$I_A = 0.94 \quad I_B = 0.78 \quad I_C = 0.62 \quad I_D = 0.46 \quad I_E = 0.30$$

$$N = \text{Número de edificios}$$

Los valores proporcionados por el Índice de vulnerabilidad están dentro del intervalo de 0 a 1, siendo más cercano a 1 cuanto más vulnerable son los edificios de cada municipio.

Se dividen en clases de vulnerabilidad Baja, Media, Alta y Muy Alta los valores del índice obtenidos mediante la ecuación de pertenencia del Índice de vulnerabilidad a cada clase, asignándolos límites del índice para cada clase.

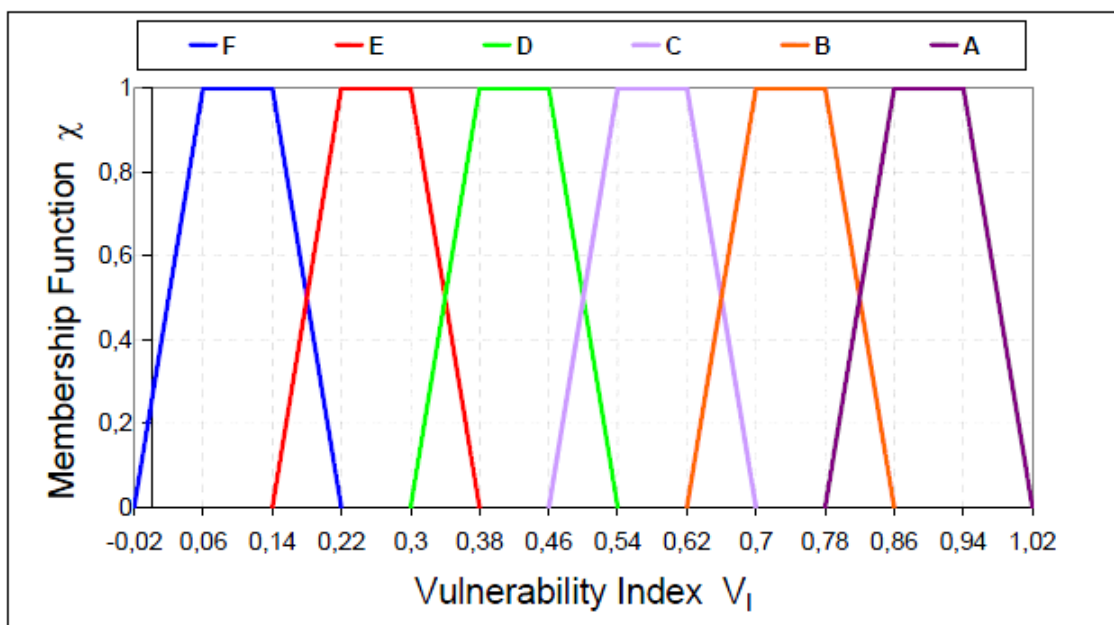


Figura 29. Ecuación de relación de pertenencia según el I_v a cada clase de vulnerabilidad de la EMS-98 (G. Grünthal, 1998).



En el proyecto Risk-UE se proponen índices de vulnerabilidad específicos para los edificios, siendo el más probable $\chi=1$, el posible $\chi=0.6$ y el menos probable $\chi=0.2$, generando los índices de vulnerabilidad mostrados en la Tabla 7, siendo definido el valor más probable por los índices inferior y superior $[V_I^-, V_I^+]$ y los índices de vulnerabilidad que se consideran posibles mediante $[V_I^{\min}, V_I^{\max}]$.

Tabla 7. Índices de vulnerabilidad propuestos en Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003).

Clases de Vulnerabilidad	Límites del Ív			
	V_I^{\min}	V_I^-	V_I^+	V_I^{\max}
A	0,78	0,86	0,94	1,02
B	0,62	0,70	0,78	0,86
C	0,46	0,54	0,62	0,70
D	0,30	0,38	0,46	0,54
E	0,14	0,22	0,30	0,38
F	-0,02	0,06	0,14	0,22

En el presente trabajo, se realiza una reclasificación del Índice de vulnerabilidad para cada municipio, escogiendo como límites el punto medio entre el índice posible y el más probable, tal y como recoge la Tabla 8, diferenciando cuatro clases de vulnerabilidad.

Tabla 8. Relación entre las clases de vulnerabilidad y los límites utilizados para su representación.

Clases de Vulnerabilidad	Límites del Ív	
BAJA	0	0,49
MEDIA	0,5	0,66
ALTA	0,67	0,81
MUY ALTA	0,82	1



3.3 ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

Para traducir el movimiento esperado a porcentajes de daño se ha utilizado la metodología de la aplicación de Matrices de Probabilidad de Daño (MPD). Estas matrices se generaron fundamentalmente a partir de datos del terremoto de Irpinia de 1980 (Chávez, 1980).

Las MPD que se aplican son las incluidas en la Tabla 4. Cada celda de la matriz corresponde al porcentaje de edificaciones que experimentará cada grado de daño para cada nivel de movimiento, obtenido de la acción sísmica dada por los mapas de peligrosidad, traducido a grados de intensidad, lo que permitirá cuantificar el daño.

Cada grado de daño se obtendrá a través del sumatorio del número de edificios residenciales de cada clase de vulnerabilidad, multiplicado por el porcentaje de daño asociado, proporcionado por las MPD, tal como muestra la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 D_0 &= \sum N_A D_{A0} + N_B D_{B0} + N_C D_{C0} + N_D D_{D0} + N_E D_{E0} \\
 D_1 &= \sum N_A D_{A1} + N_B D_{B1} + N_C D_{C1} + N_D D_{D1} + N_E D_{E1} \\
 &\vdots \\
 D_5 &= \sum N_A D_{A5} + N_B D_{B5} + N_C D_{C5} + N_D D_{D5} + N_E D_{E5}
 \end{aligned}$$

Siendo:

N = Número de edificios de cada clase de vulnerabilidad

D = Porcentaje de daño asociado (MPD)

3.3.1 Índices de daño

Como resultado del estudio de riesgo sísmico se obtienen parámetros representativos del daño físico previsible que causarán los terremotos cuya acción sísmica ha sido determinada previamente. Para la representación cartográfica del daño físico se han utilizado los siguientes índices de daño:



- Índice de Daño Medio: actúa como un indicador ponderado del daño medio causado en una entidad poblacional y una clase de vulnerabilidad determinada.

$$D_m = \sum_0^5 Pd \times n$$

Siendo:

Pd = Porcentaje de edificaciones de cada grado de daño

n = Ponderación para cada grado de daño.

- Índice de Daño más probable o Daño esperado: asignará el grado de daño correspondiente al valor máximo de los grados de daño.

$$D_e = MÁX[D_1 \dots D_5]$$

Siendo:

D = Número de edificios para cada grado de daño

- Índice de Daño sobre el percentil 85: Asigna un valor extremo de la distribución de daño esperado.

$$\%D0 \geq 85 \text{ se asigna } D0$$

$$\%D0 + \%D1 \geq 85 \text{ se asigna } D1$$

$$\%D0 + \%D1 + \%D2 \geq 85 \text{ se asigna } D2$$

$$\%D0 + \%D1 + \%D2 + \%D3 \geq 85 \text{ se asigna } D3$$

$$\%D0 + \%D1 + \%D2 + \%D3 + \%D4 \geq 85 \text{ se asigna } D4$$

$$\%D0 + \%D1 + \%D2 + \%D3 + \%D4 + \%D5 \geq 85 \text{ se asigna } D5$$

Siendo:

$\%D$ = Porcentaje de edificios de cada grado de daño



Para identificar las zonas en las que mayor daño se ha producido se obtiene el número de edificios inhabitables en cada municipio:

$$\text{Edificios inhabitables} = N^{\circ} \text{edif. D4} + N^{\circ} \text{edif. D5} + 50\% N^{\circ} \text{edif. D3}$$

3.4 COSTE ASOCIADO AL DAÑO

Para obtener el valor económico del coste asociado a la reparación de daños físicos se calcula el Coste de Construcción de los edificios, el cual dependerá de tres factores.

$$CC = CEM + BI + OGG$$

Siendo:

$$CC = \text{Coste de Construcción}$$

$$CEM = \text{Coste de Referencia o Coste de Ejecución Material}$$

$$BI = \text{Beneficio Industrial} = 6\%CEM$$

$$OGG = \text{Otros Gastos Generales} = 13\%CEM$$

El Coste de Referencia (CR) o Coste de Ejecución Material (CEM) será el valor del euro por metro cuadrado correspondiente a cada municipio, proporcionado por el Colegio Oficial de Arquitectos de cada provincia donde se establece un Módulo Básico o Coste de Referencia por provincia cuyo valor varía dependiendo del municipio. Este Módulo generalmente depende del número de habitantes que posee cada municipio, a mayor número de habitantes, mayor CR, por lo que dicho valor se multiplica por un índice que disminuye el valor del Módulo Básico (0,95), en el caso de tener menos de tres mil habitantes, o que aumenta el valor del Módulo (1,05) en el caso de que la localidad posea más de veinte mil habitantes, manteniéndose igual para el resto de municipios (o multiplicándose por 1). Este método se aplica en las provincias en las que no se indica la diferencia de CR entre municipios, concretamente en las provincias de: Álava, Alicante, Almería, Islas Baleares, Barcelona, Burgos, Cádiz, Córdoba, Girona,



Guipúzcoa, Huelva, Huesca, Jaén, Lleida, La Rioja, Málaga, Murcia, Navarra, Asturias, Islas Canarias, Sevilla, Soria, Tarragona, Teruel, Valencia, Vizcaya, Zamora y Zaragoza.

A partir del Coste de Referencia se obtiene el Coste de Construcción particular para cada municipio.

Para asignar un valor de reconstrucción en función del daño, es necesario conocer la superficie construida en cada municipio. Para ello, se descargado del Instituto Nacional de Estadística (INE) el valor referente al número de hogares construidos en cada edificio en función de su superficie útil, obteniendo el total de metros cuadrados construidos en los edificios residenciales de cada municipio. A partir de la superficie útil existente en cada municipio, se calcula la superficie construida multiplicando por 1,25 la superficie útil.

Conocido el valor del Coste de Construcción y la superficie construida en cada municipio, se calcula el valor de reconstrucción de los edificios residenciales dado por los hogares, que dependerá del grado de daño esperado. Para cada grado de daño se asigna un porcentaje de coste esperado, desde el grado nulo, cuyo coste de construcción será de 0, hasta el daño 5, cuyo coste alcanzará el valor total de construcción.

Tabla 9. Valor de reconstrucción de los edificios dañados en función coste de construcción y del grado de daño esperado.

D0	D1	D2	D3	D4	D5
0% CC	15% CC	30% CC	65% CC	80% CC	100% CC

Siendo:

CC = Valor del *Coste de Construcción en cada municipio*

De esta forma se obtiene el valor de reconstrucción de cada municipio en función del daño estimado en sus edificaciones en el caso de existir un terremoto de intensidad máxima, para cada municipio.



APLICACIÓN DEL ESTUDIO



4. APLICACIÓN DEL ESTUDIO

4.1 REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para la representación y visualización de los resultados obtenidos, se ha utilizado el software ArcGIS v.10.1, representando la vulnerabilidad sísmica, el riesgo sísmico y el coste asociado al daño en distintos mapas, utilizando como Sistema de Referencia ETRS 1989 en el Huso 30 N.

4.1.1 Evolución temporal de la vulnerabilidad sísmica

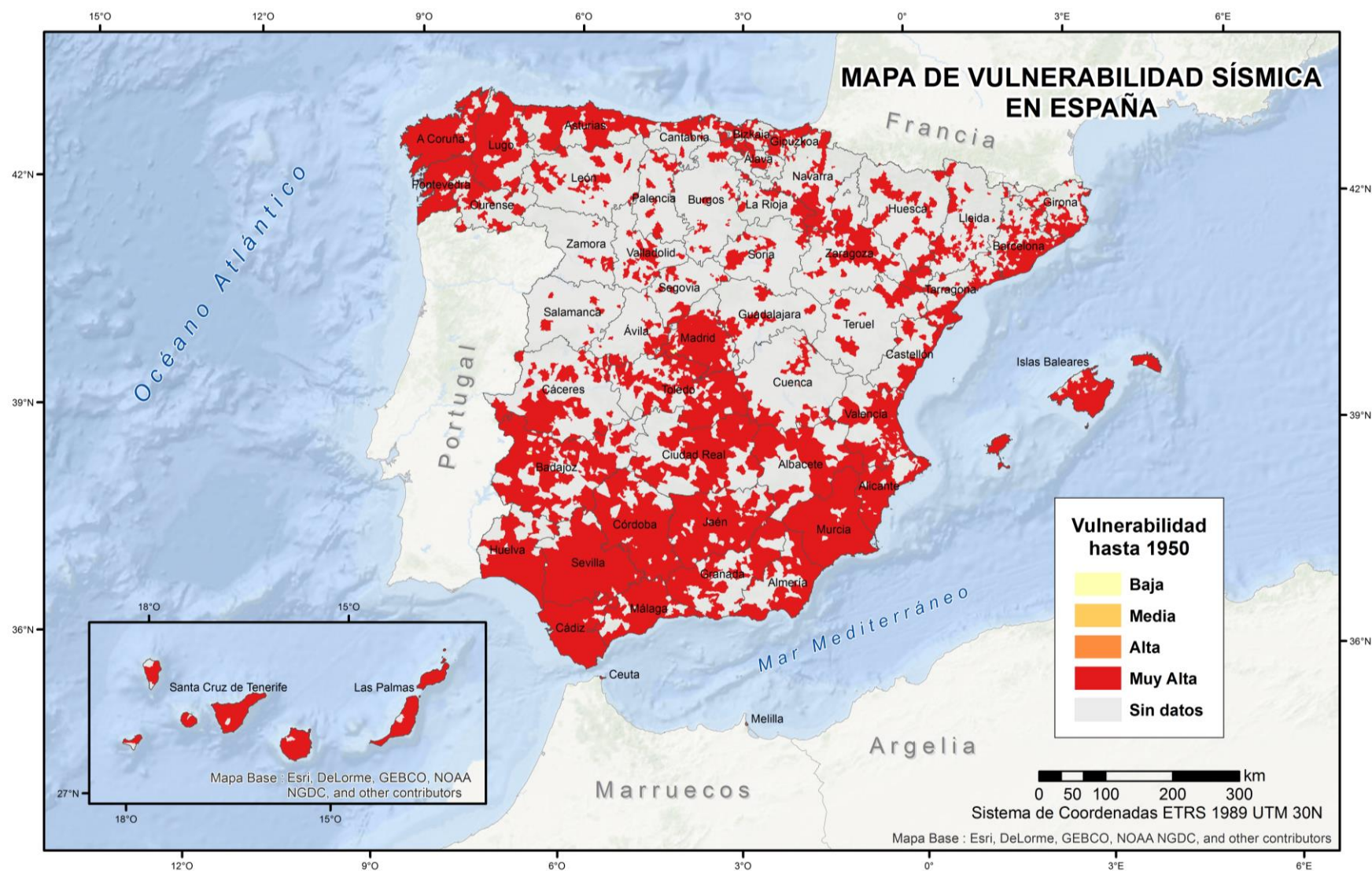


Figura 30. Mapa de vulnerabilidad sísmica en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 1950.

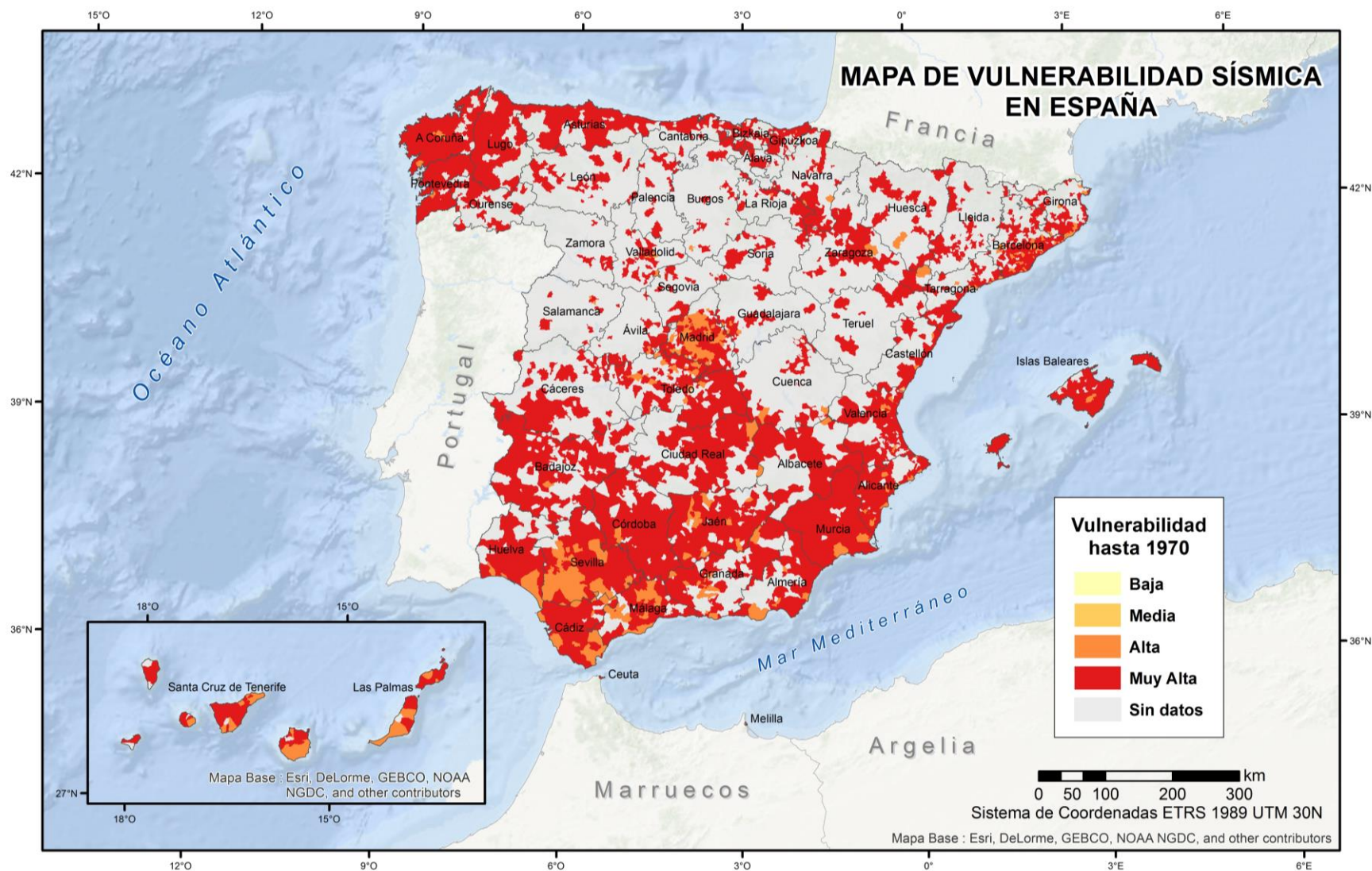


Figura 31. Mapa de vulnerabilidad sísmica en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 1970.

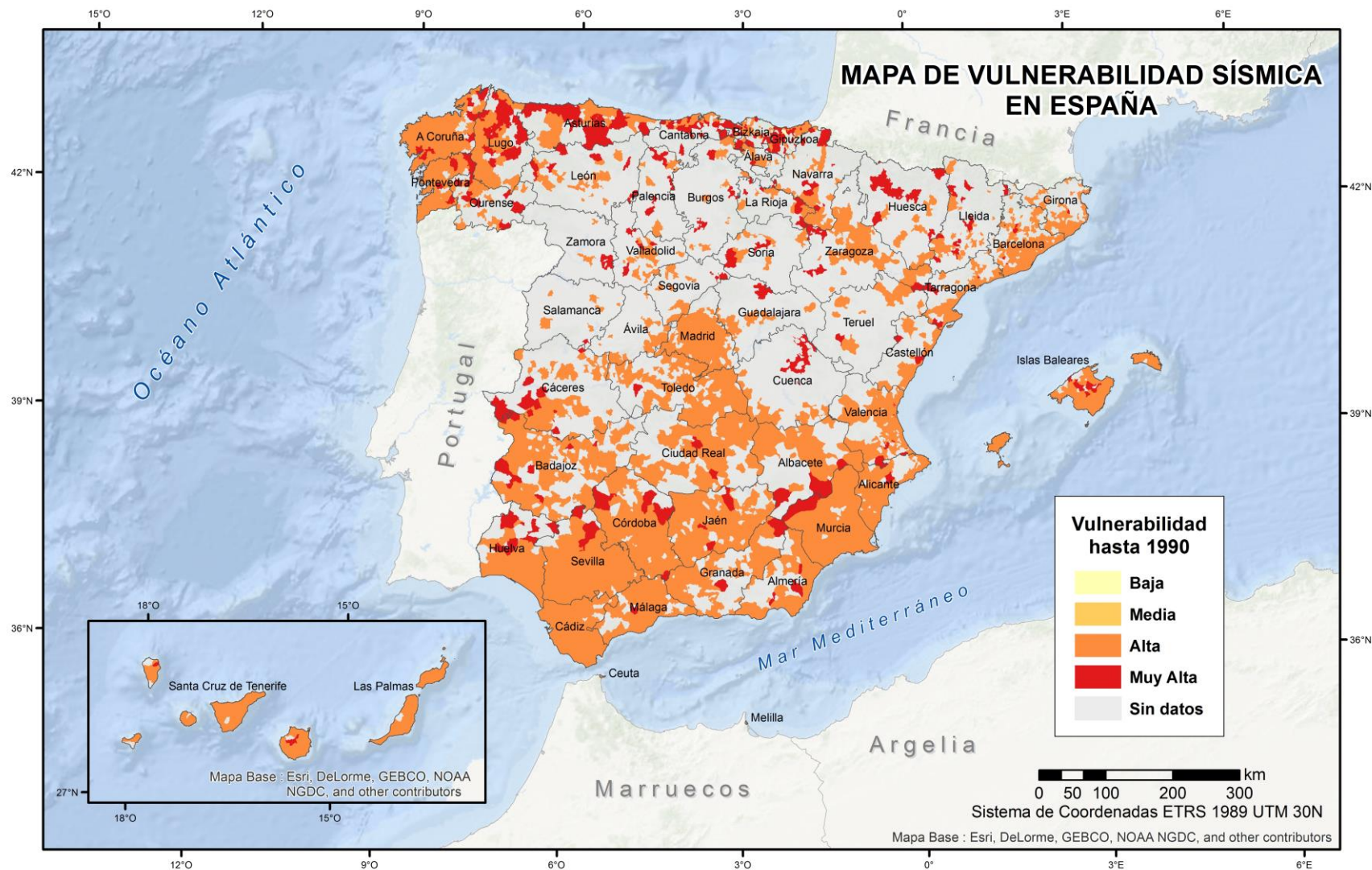


Figura 32. Mapa de vulnerabilidad sísmica en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 1990.

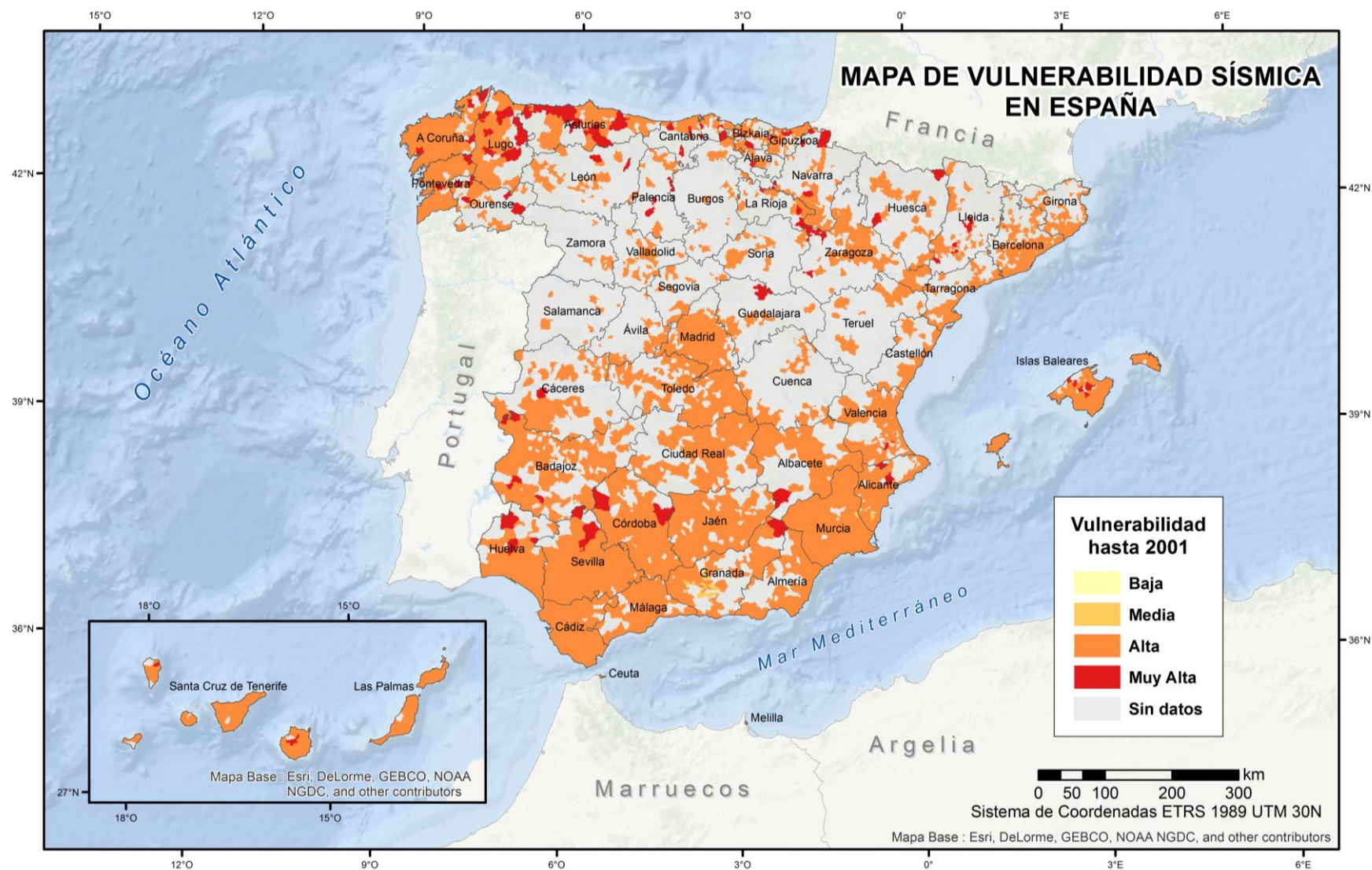


Figura 33. Mapa de vulnerabilidad sísmica en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 2001.

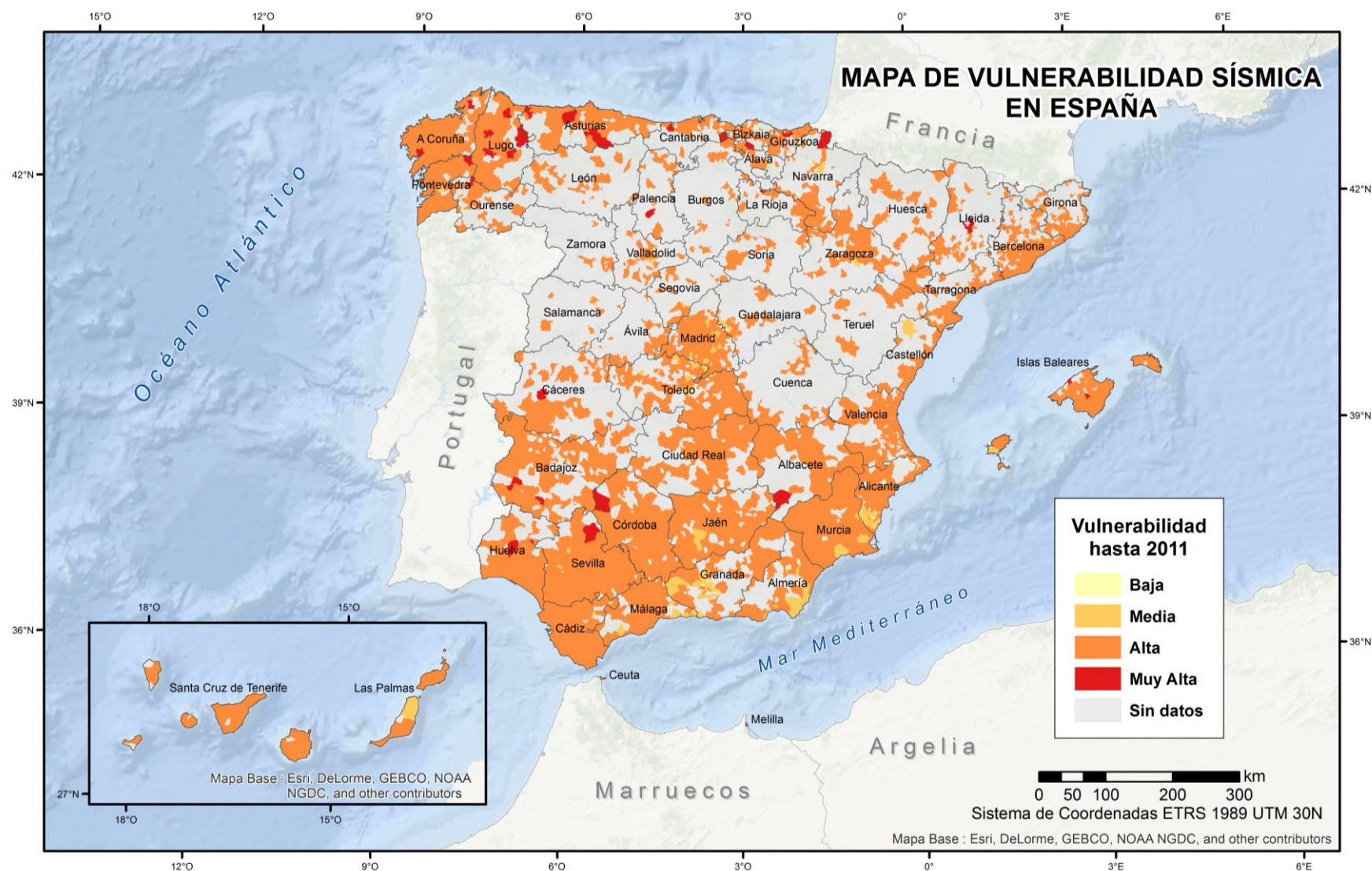


Figura 34. Mapa de vulnerabilidad sísmica en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 2011.

La base de datos del Instituto Geográfico Nacional recoge los datos espacio-temporales de la construcción de los edificios, pudiendo conocer su evolución temporal representada en la Figura 35.

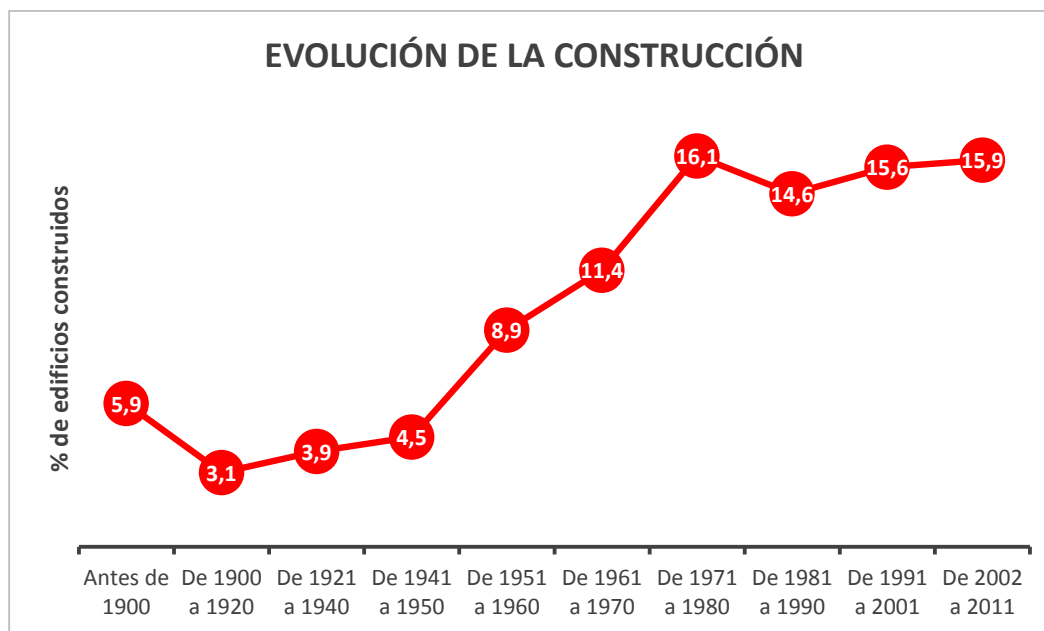


Figura 35. Evolución de la construcción desde antes de 1900 hasta el año 2011 (INE).

La década de los 70 es la de mayor auge en la construcción, aunque seguida muy de cerca por la última década. Se observa un porcentaje mínimo de nueva construcción a principios del siglo XX, un aumento gradual desde los 40 hasta los 70, y desde el máximo de los 70, un ritmo de construcción sostenido en torno al 15%

A partir del método de Índice de vulnerabilidad se estima el porcentaje de municipios pertenecientes a cada clase de vulnerabilidad en función de la edificación construida en cada uno de los cinco periodos de tiempo establecidos en la representación.

Tabla 10. Relación del porcentaje de municipios correspondientes a cada clase de vulnerabilidad en cada periodo de tiempo a partir del método del Índice de vulnerabilidad.

Vulnerabilidad	Hasta 1950	1951-1970	1971-1990	1991-2001	2001-2011
BAJA	0%	0%	0%	3,3%	3,4%
MEDIA	0%	0%	0%	7,8%	96,6
ALTA	0%	98,7%	100%	89%	0%
MUY ALTA	100%	1,3%	0%	0%	0%

En la Figura 36 se representa la tipología constructiva de cada época, identificando el número de edificios construidos de cada clase de vulnerabilidad según la clasificación de la EMS-98.

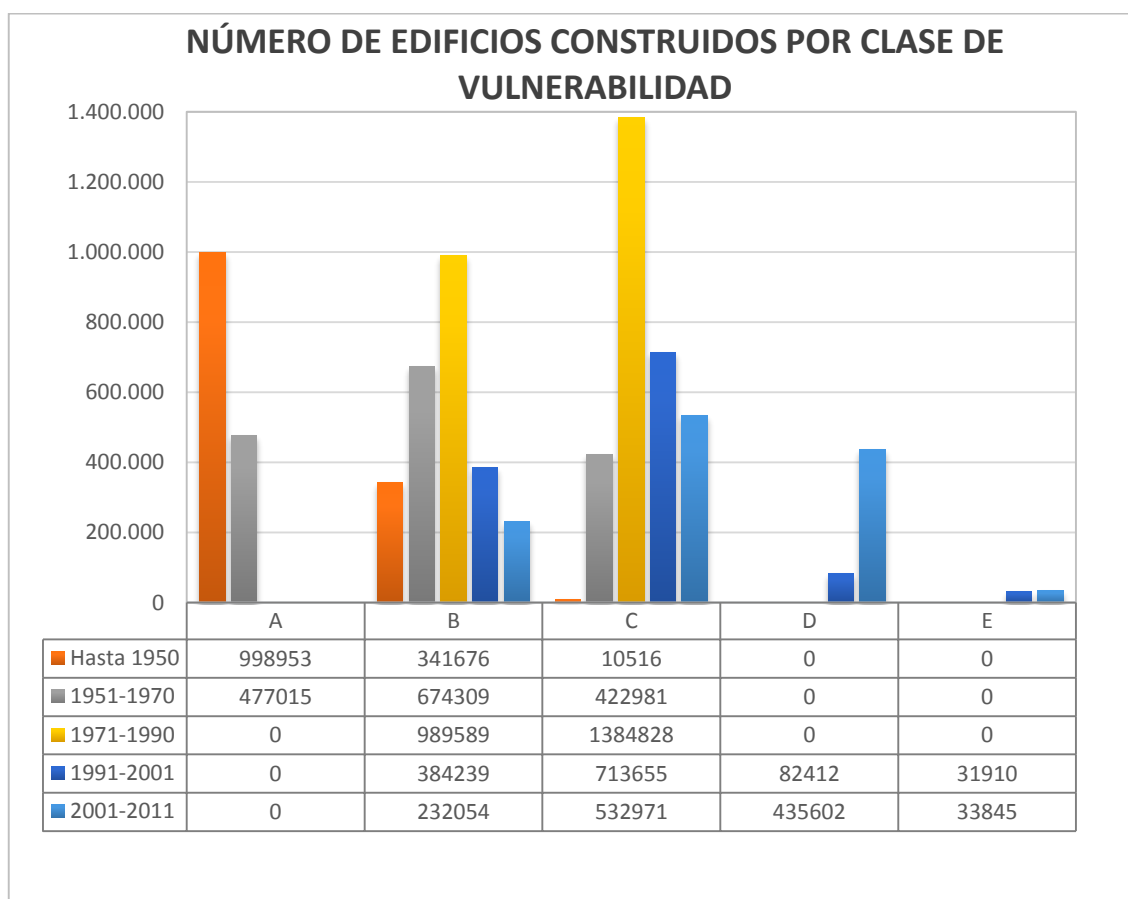


Figura 36. Número de edificios construidos en cada época para cada clase de vulnerabilidad según la clasificación dada por la EMS-98.

- En el primer periodo (hasta 1950) la vulnerabilidad se estima Muy Alta frente a las acciones sísmicas, debido a que se ha construido con clases de vulnerabilidad A y B principalmente, es decir, edificios con estructuras de mampostería (adobe o paredes de roca de cantera), cuyos materiales y tipologías estructurales son muy vulnerables. Estos edificios no se construyeron con regulación sísmica, bien porque no existían normativas en el momento de la construcción o porque no eran obligatorias.

Los municipios con mayor número de edificios antiguos son Barcelona, Madrid y Valencia.

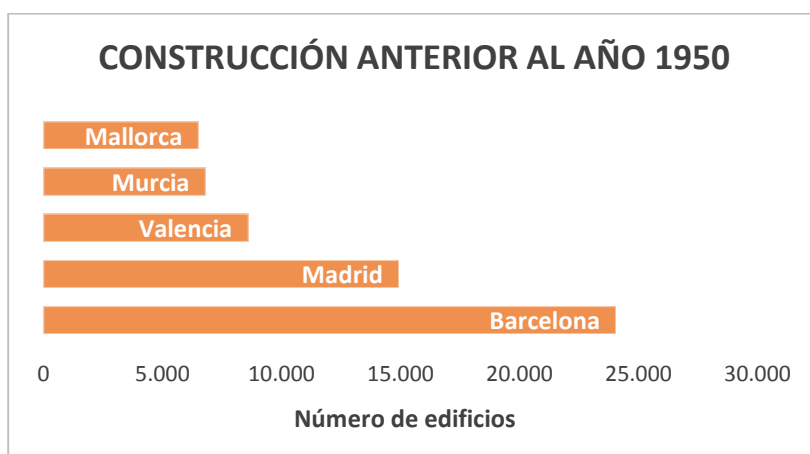


Figura 37. Representación de los municipios con mayor volumen de edificios residenciales construidos hasta el año 1950.

- En el segundo periodo (1951-1970) la clase de vulnerabilidad desciende un grado, pasando a ser del 100% de clase Muy Alta a ser un 98,7% de clase Alta, debido a que se introducen estructuras de hormigón ordinarias, correspondientes a la clase de vulnerabilidad C, según la definición de la EMS-98.
- El tercer periodo (1971-1990) coincide con el auge de la construcción en España. Debido a la utilización de nuevos materiales (hormigón en masa y armado, pertenecientes a la clase C), y el avance de la normativa técnica (PGS-1 y PDS-1), la clase de vulnerabilidad Muy Alta desaparece, siendo la totalidad de



la edificación de clase Alta, debido a que un gran número de edificios fueron contruidos también con clase B (estructuras de roca simple o manufacturada).

- En el cuarto periodo (1991-2001) se genera la normativa técnica de obligado cumplimiento, Norma de Construcción Sismorresistente Española (1994). A partir de la implementación de esta normativa se comienzan a diferenciar las zonas en las que existen valores más altos de aceleración debido a la creación de los mapas de amenaza, por lo que comienzan a construirse edificaciones con tipología constructiva correspondiente a las clases D y E (estructuras con mampostería reforzada, de HA con distintos niveles de diseño sismorresistente, estructuras de madera y de acero), dando lugar a la aparición de zonas de vulnerabilidad Media (7,8%) y Baja (3,3%) concretamente en aquellas zonas que tienen elevada peligrosidad, frente a un 89% de clase Alta, debido a que se continúa construyendo con tipologías de clase B (estructuras de roca simple o manufacturada).
- En el quinto periodo (2001-2011), tras la actualización de la Norma Sismorresistente Española en 2002, la clase de vulnerabilidad Alta desaparece, siendo mayoritaria la clase Media (96,6%) debido al gran aumento de las construcciones que aplican el diseño sismorresistente en sus estructuras (clases D y E). Murcia es el municipio que posee mayor número de edificaciones de clase D, siendo los de clase E predominantes en Granada, sur de Alicante, zonas de Jaén y Los Corrales (Sevilla) y en las Sant Josep de sa Talaia (Islas Baleares).

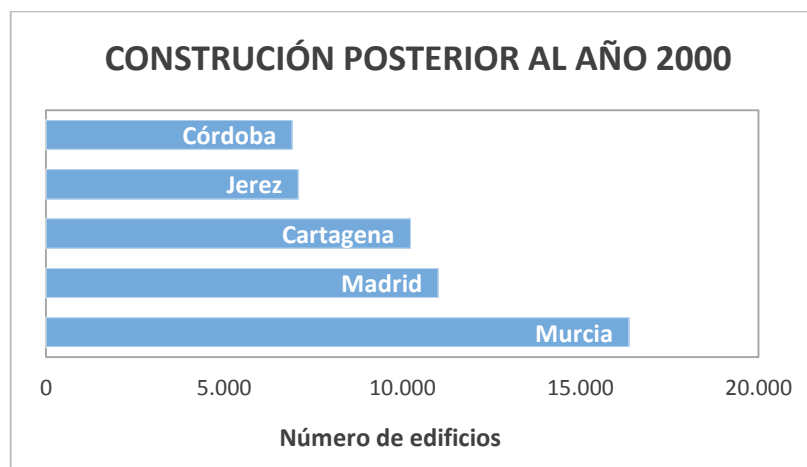


Figura 38. Representación de los municipios con mayor volumen de edificios residenciales construidos en la última década.

Finalmente, se estima la distribución del parque inmobiliario en las Figuras 39 y 40, obteniendo el número de edificios correspondientes a cada clase de vulnerabilidad a partir del método del Índice de vulnerabilidad con los datos disponibles en el censo (hasta el año 2011).

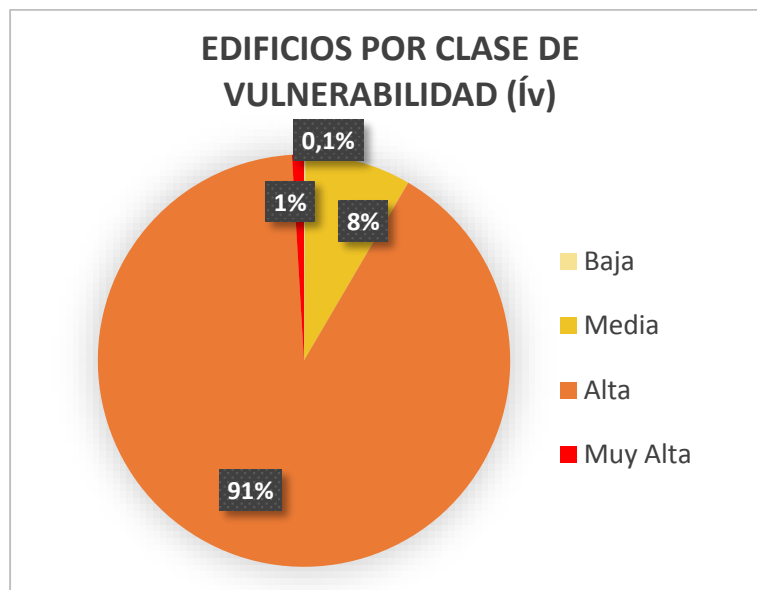


Figura 39 Representación del porcentaje total de edificios construidos de cada clase de vulnerabilidad según el método del Índice de vulnerabilidad.

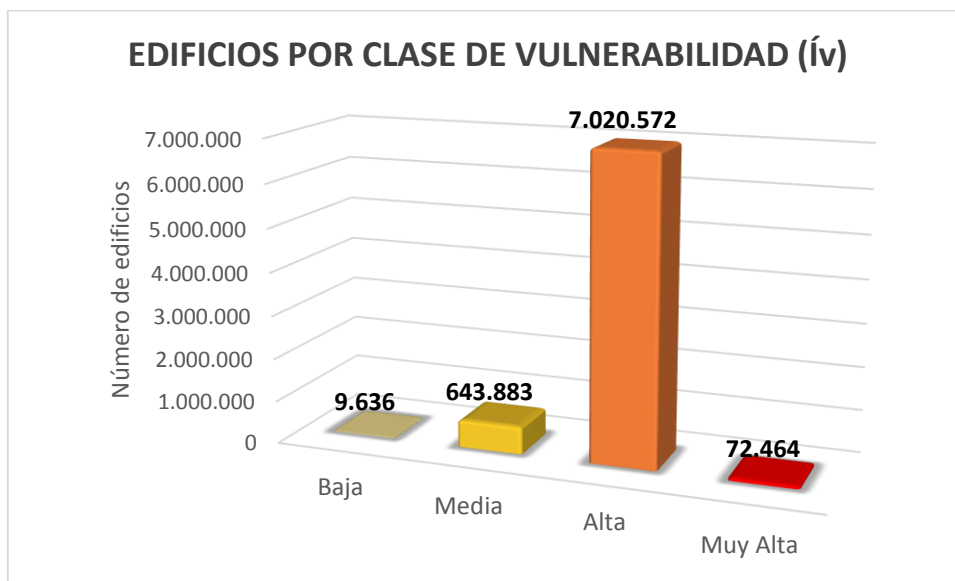


Figura 40. Representación del número total de edificios construidos de cada clase de vulnerabilidad según el método del Índice de vulnerabilidad.

4.1.2 Evolución temporal del riesgo sísmico

A partir de la clasificación de la vulnerabilidad edificatoria y de la intensidad máxima esperada para cada municipio, se estima el daño que provocaría un terremoto de dicha intensidad, obtenida a partir del mapa de peligrosidad correspondiente, determinando de esta manera el riesgo sísmico.

Para conocer la evolución del riesgo a lo largo del tiempo, se realiza una evaluación temporal del riesgo observando su variación en los cinco periodos de tiempo establecidos. Se ha utilizado como índice de representación el daño medio esperado, dividido en cinco grados de daño más el grado nulo: desde edificaciones que no sufren daño (daño 0), hasta el grado 5, donde los edificios colapsan.

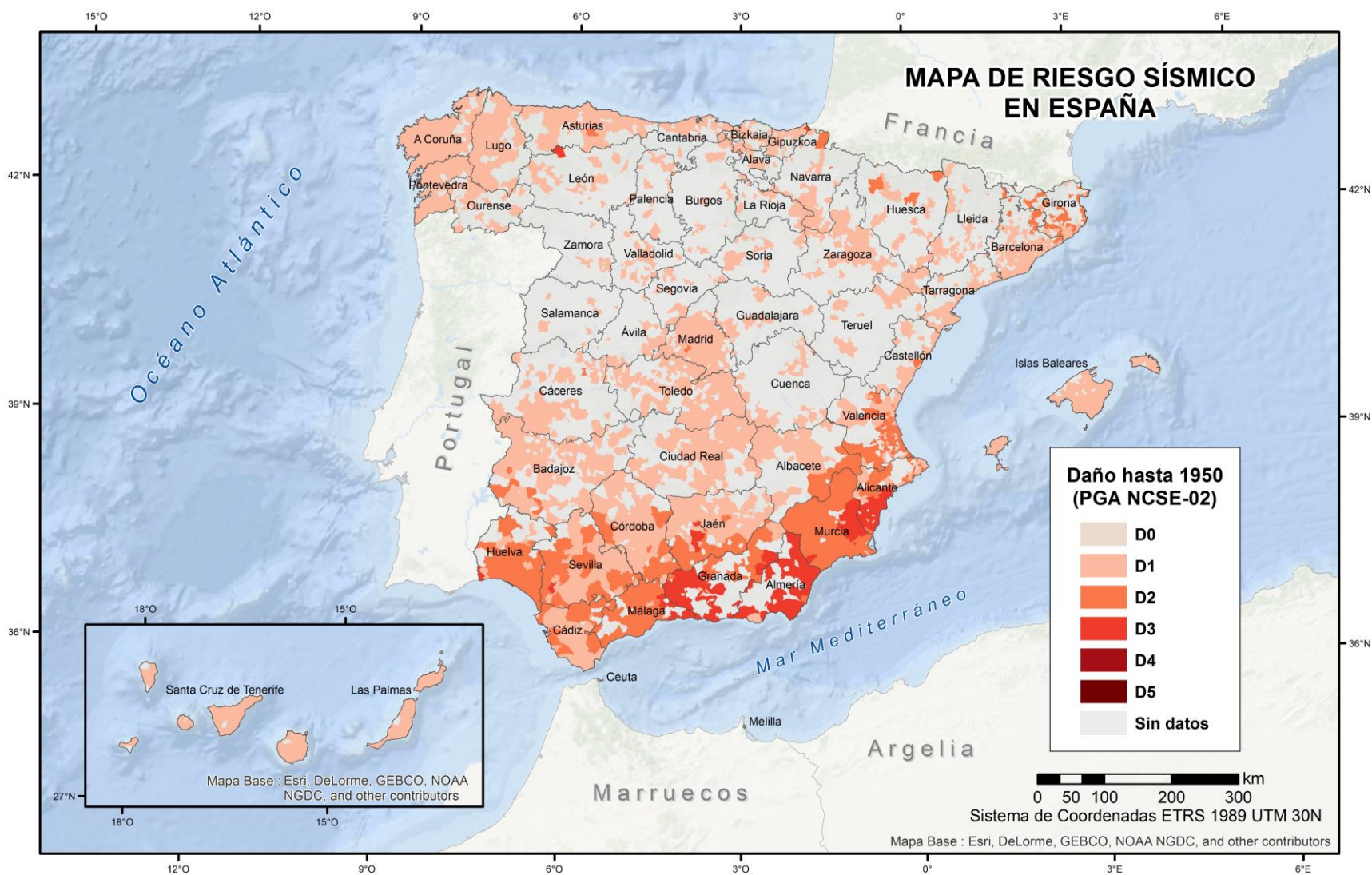


Figura 41. Mapa de riesgo sísmico en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 1950 a partir de los valores de PGA de la Norma.

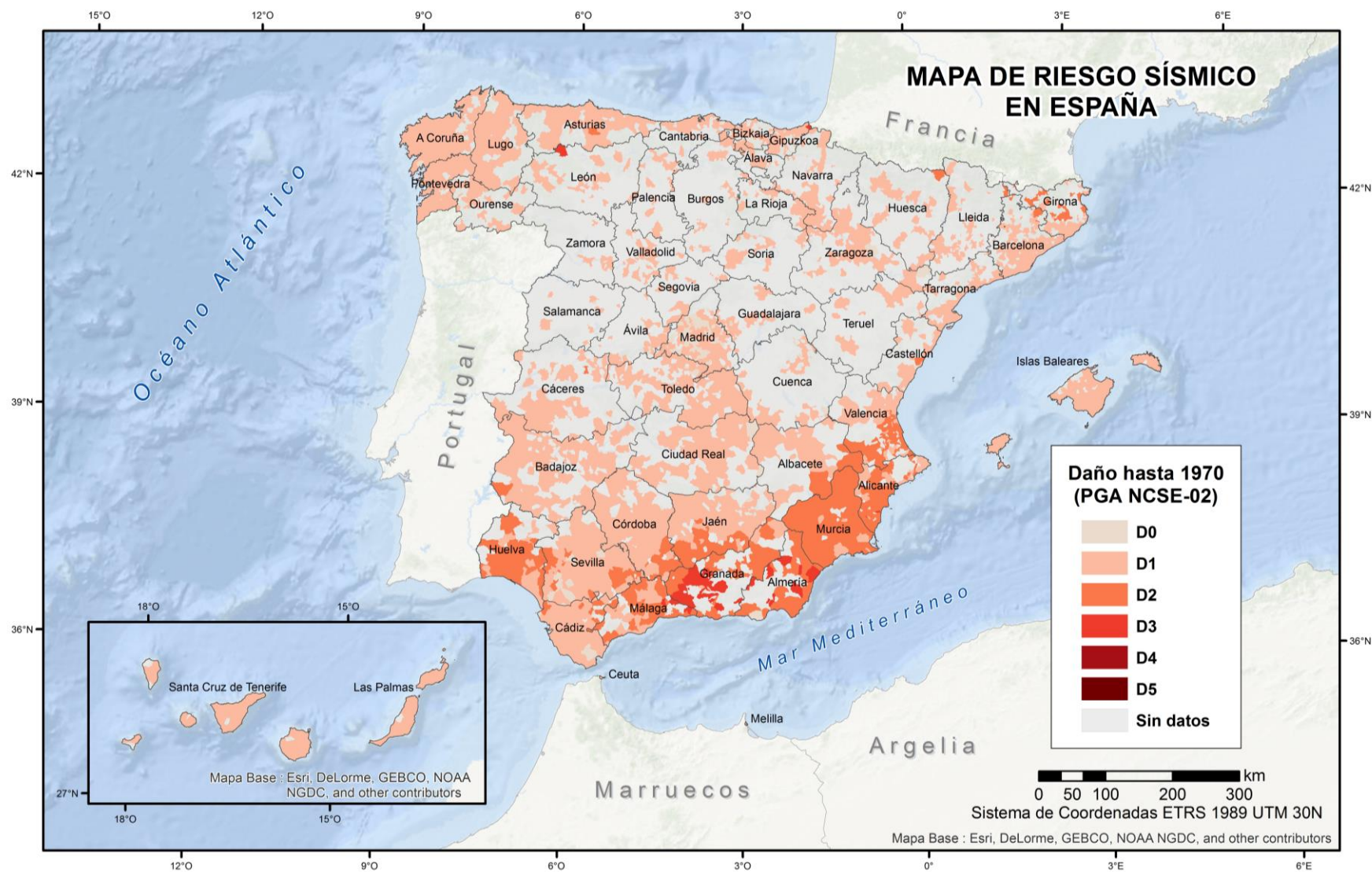


Figura 42. Mapa de riesgo sísmico en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 1970 a partir de los valores de PGA de la Norma.

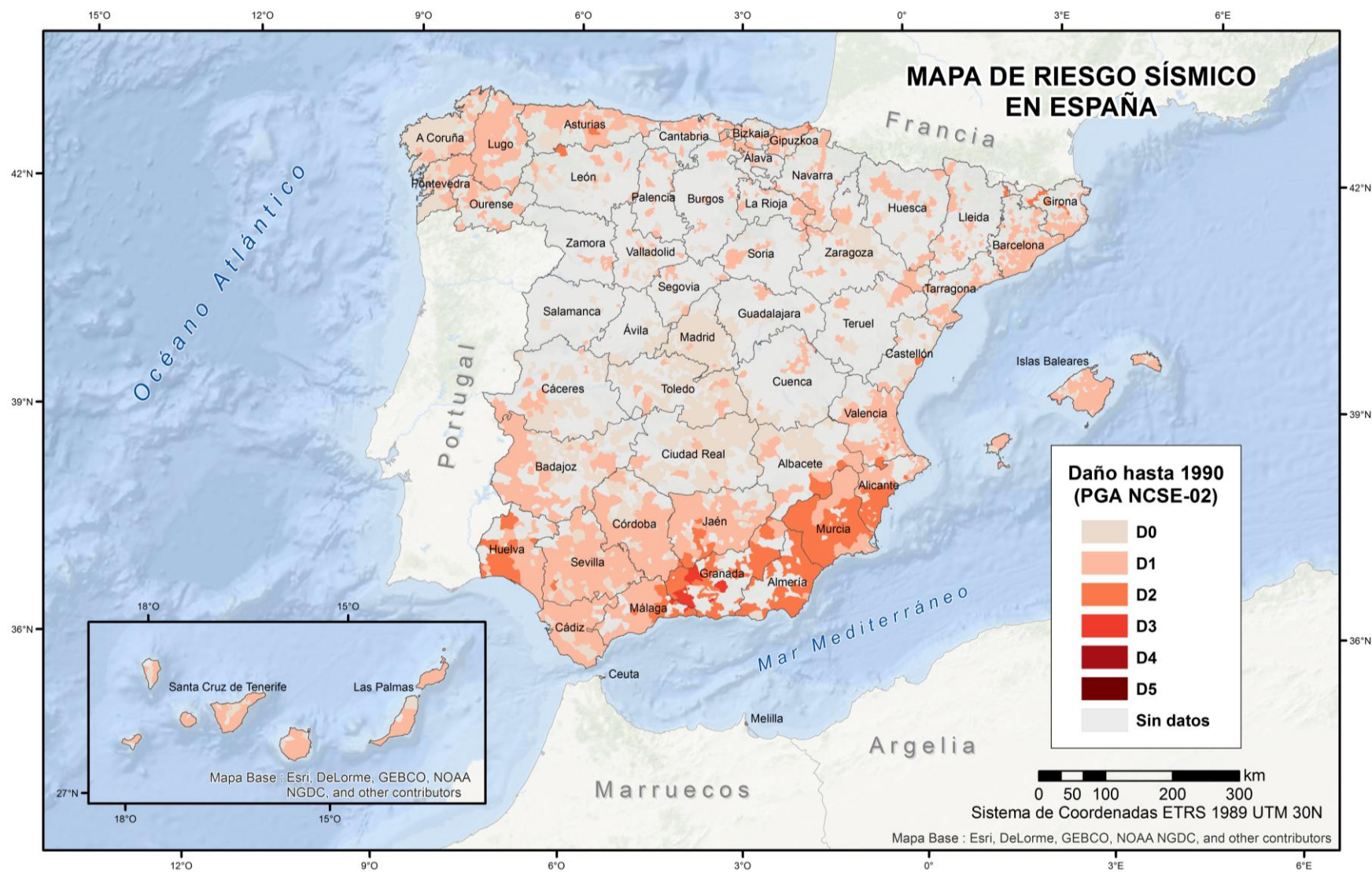


Figura 43. Mapa de riesgo sísmico en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 1990 a partir de los valores de PGA de la Norma.

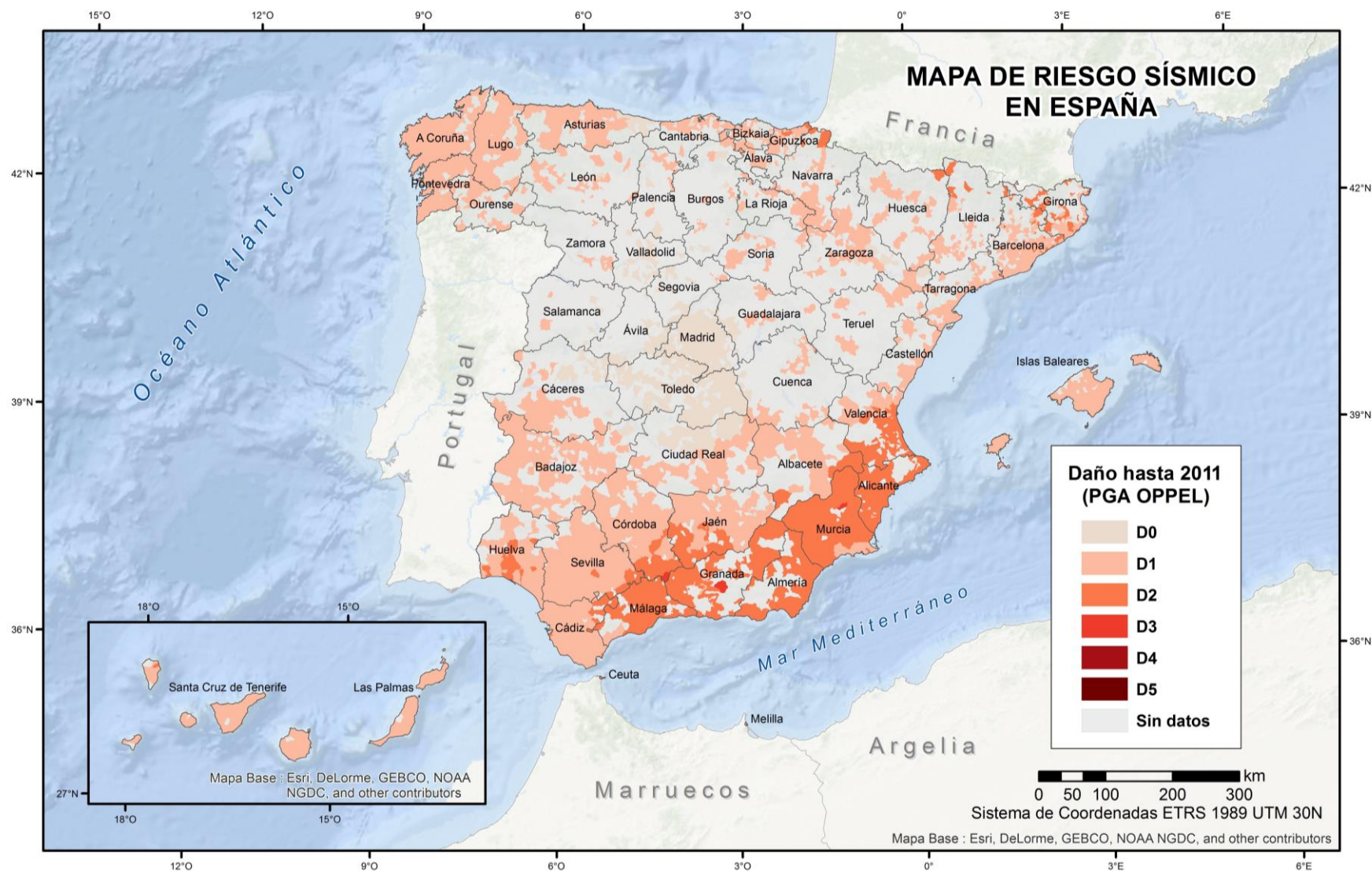


Figura 44. Mapa de riesgo sísmico en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 2001 a partir de los valores de PGA de la Norma.

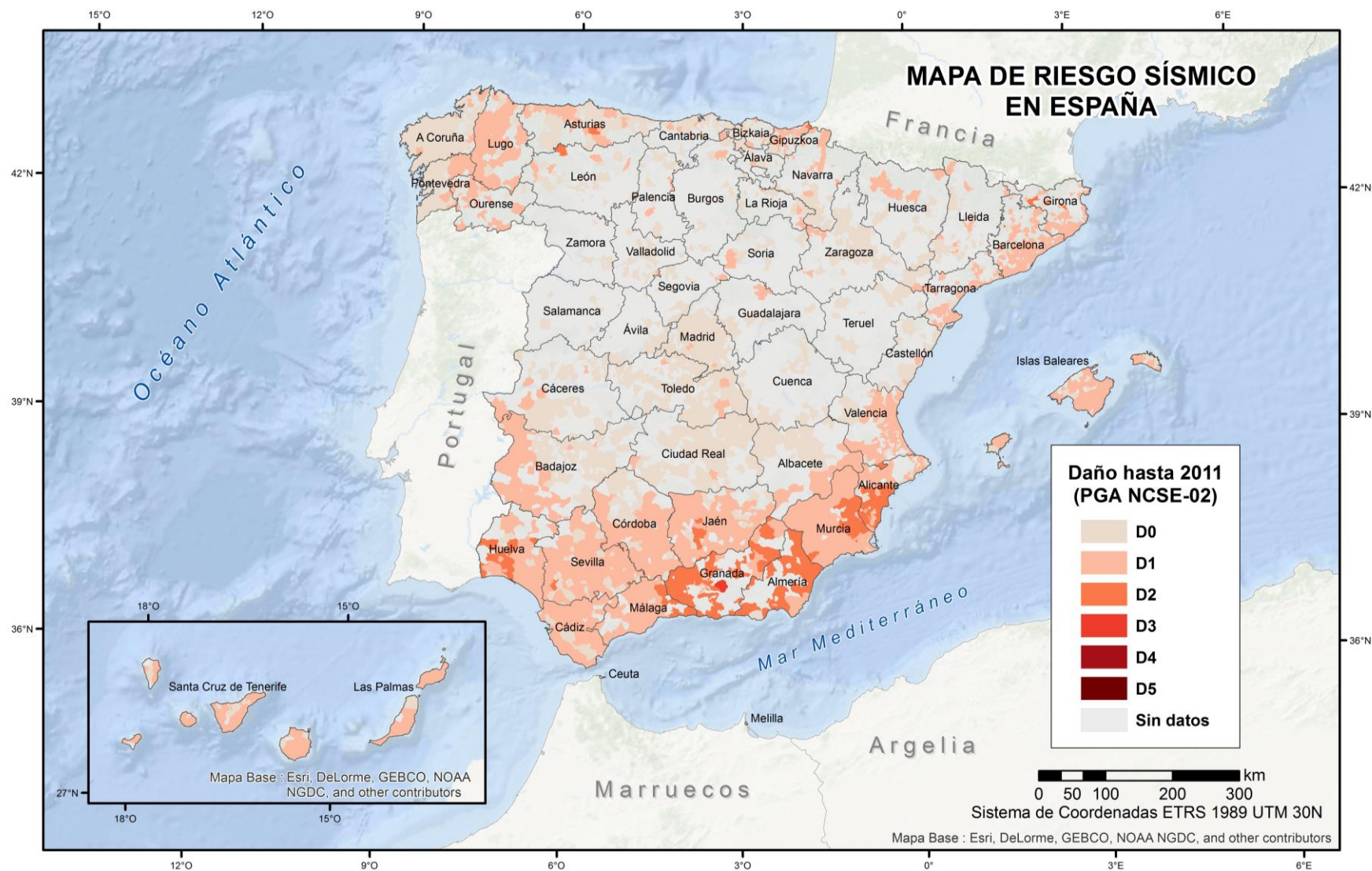


Figura 45. Mapa de riesgo sísmico en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 2011 a partir de los valores de PGA de la Norma.

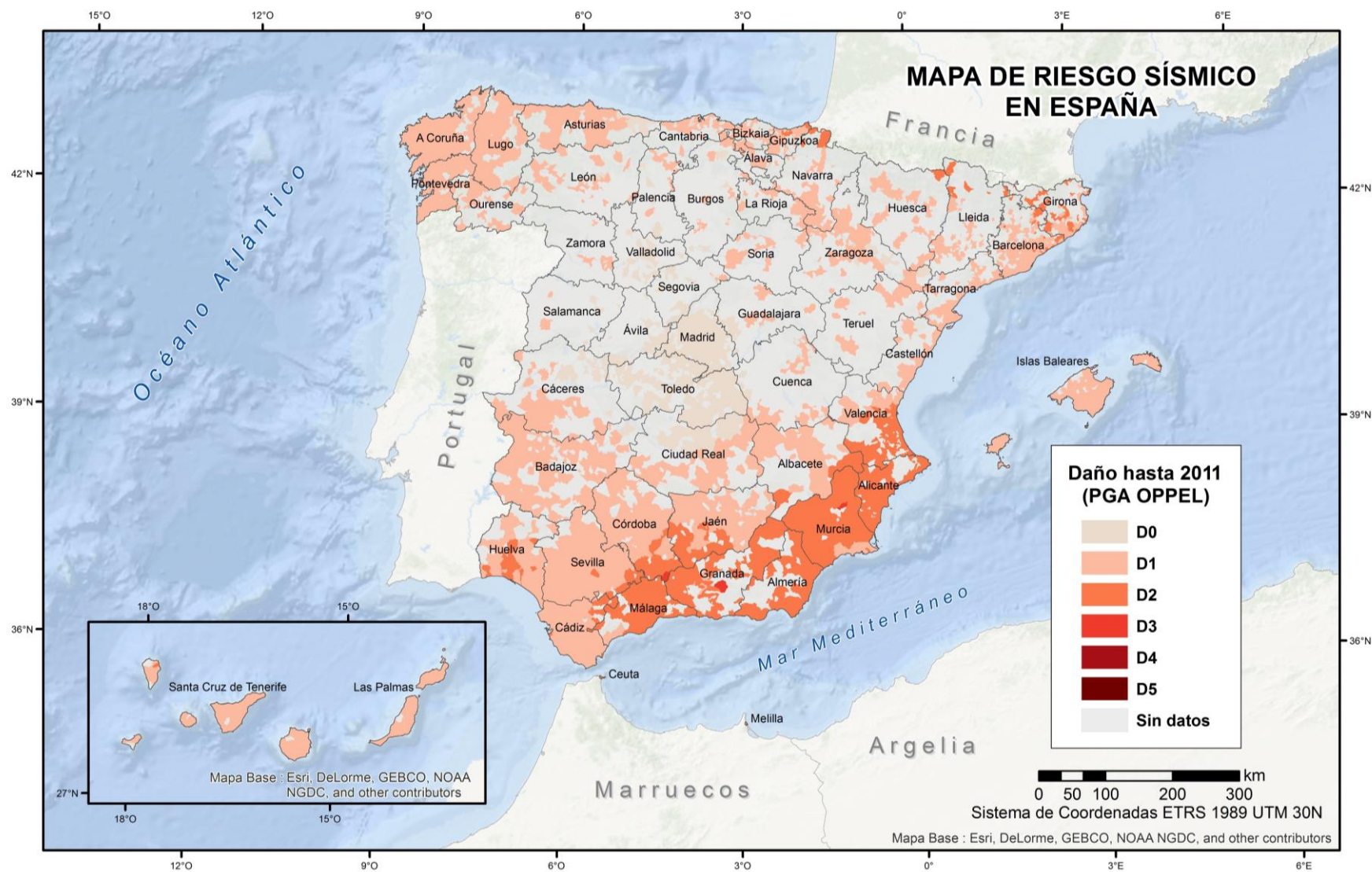


Figura 46. Mapa de riesgo sísmico en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 2011 a partir de los valores de PGA de OPPEL.



La disminución del riesgo sísmico se ha producido principalmente en las zonas de peligrosidad elevada, es decir, el sureste de España abarcando zonas de Alicante, Murcia, Almería, Granada, Málaga, Sevilla, Cádiz, Huelva, Córdoba y Jaén, y en noreste de España en zonas de Girona o Huesca.

Debido a la aplicación de códigos sísmicos en las construcciones, el riesgo sísmico ha ido disminuyendo a lo largo del tiempo. A pesar de esta disminución, el riesgo sigue manteniendo un nivel alto principalmente en zonas de peligrosidad elevada.

Para localizar los municipios en los que el riesgo ha disminuido en mayor medida, se ha representado un mapa en el que se observan aquellos municipios que han descendido hasta dos grados de daño, o que se han mantenido en el tiempo.



Figura 47. Mapa indicador del descenso de grado de daño medio en los municipios mayores de 2000 habitantes de España hasta el año 2011 a partir de los valores de PGA de la Norma.

Los municipios de Alicante, Murcia, Almería y Granada principalmente, han descendido su grado de daño en hasta dos grados, pero a pesar de ello son zonas en las que, debida a su alta sismicidad, el grado de daño esperado sigue siendo elevado respecto al resto de municipios de España, lo que implica que continúa siendo una zona con alto nivel de riesgo esperado.

Para destacar la importancia de la vulnerabilidad edificatoria se han comparado dos municipios, Minas de Riotinto(Huelva) y Orkoien(Navarra), en los que para ambos la intensidad máxima esperada es 7, teniendo cada uno de ellos clase de vulnerabilidad Muy Alta y Media respectivamente.

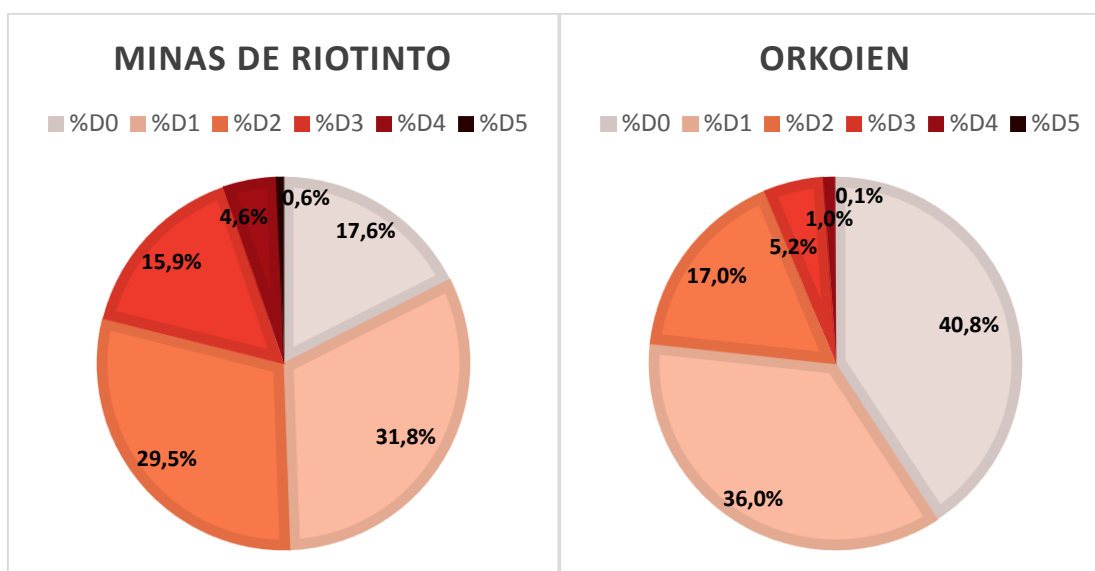


Figura 48. Representación del porcentaje de cada grado de daño en los municipios de Minas de Riotinto y Orkoien.

En Minas de Riotinto, el porcentaje de grado de daño ligero no llega al 50% del daño total, mientras que en Orkoien (Navarra), para una misma intensidad máxima esperada, el porcentaje de daño ligero es mayor del 70% del daño total. Por lo tanto, los municipios que han incorporado diseño sismorresistente en sus nuevas construcciones han disminuido considerablemente la vulnerabilidad disminuyendo con ello el daño sísmico esperado y por tanto el riesgo sísmico.

4.2 COMPARACIÓN DE LOS MAPAS GENERADOS A PARTIR DE LA NCSE-02 Y DE OPPEL

4.2.1 Riesgo sísmico

Para valorar el impacto del riesgo tras la creación del nuevo mapa de peligrosidad en España, se comparan los mapas de riesgo creados a partir del mapa de peligrosidad de la Norma y del nuevo mapa.

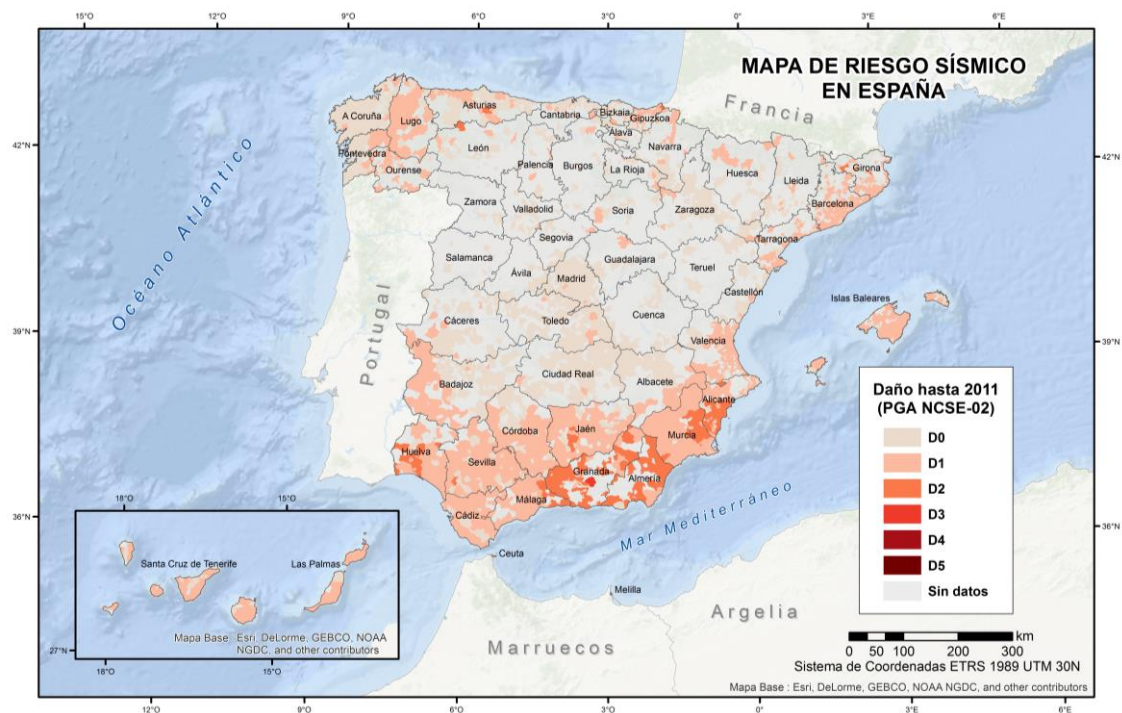


Figura 49. Mapa de riesgo sísmico en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 2011 a partir de los valores de PGA de la Norma.

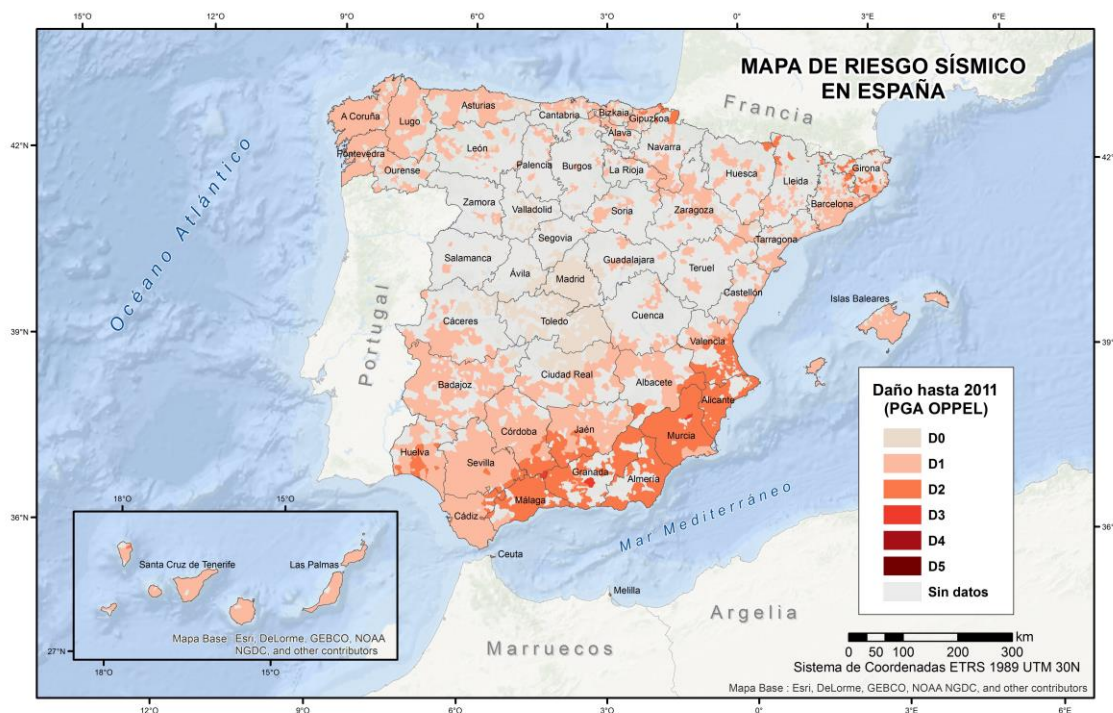


Figura 50. Mapa de riesgo sísmico en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 2011 a partir de los valores de PGA de OPPEL.

Tras el cálculo del riesgo sísmico a partir del nuevo mapa de peligrosidad se observa cómo el riesgo ha aumentado en toda España excepto en la zona centro de la península, obteniendo grados de daño 2 y 3 en localidades donde existía un grado 1, como ocurre en las provincias de Valencia, Albacete, Navarra, Guipúzcoa, Lleida y Girona.

Existen municipios particulares donde el riesgo disminuye, como ocurre en Mieres (Asturias) y Villablino (León), debido a la disminución de la peligrosidad en ambas localidades.

Los valores de riesgo que se obtienen a partir del nuevo mapa de peligrosidad dan como resultado valores que podrían compararse con los obtenidos en el año 1970 exceptuando la zona centro de la península y municipios de Cádiz o Sevilla.

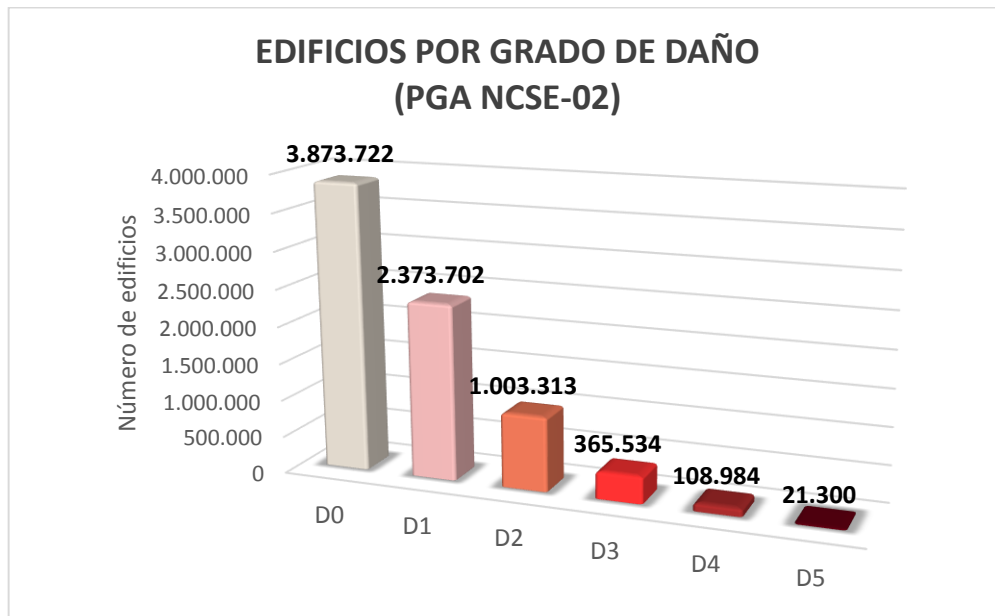


Figura 51. Número total de edificios por grado de daño según los valores de PGA dados por la NCSE-02.

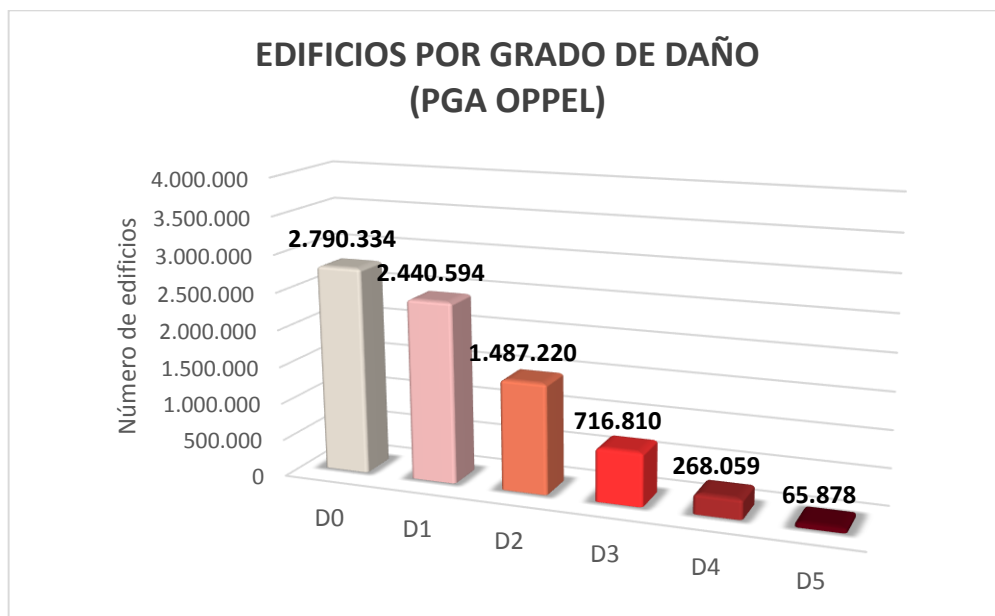


Figura 52. Número total de edificios por grado de daño según los valores de PGA dados por OPPEL.

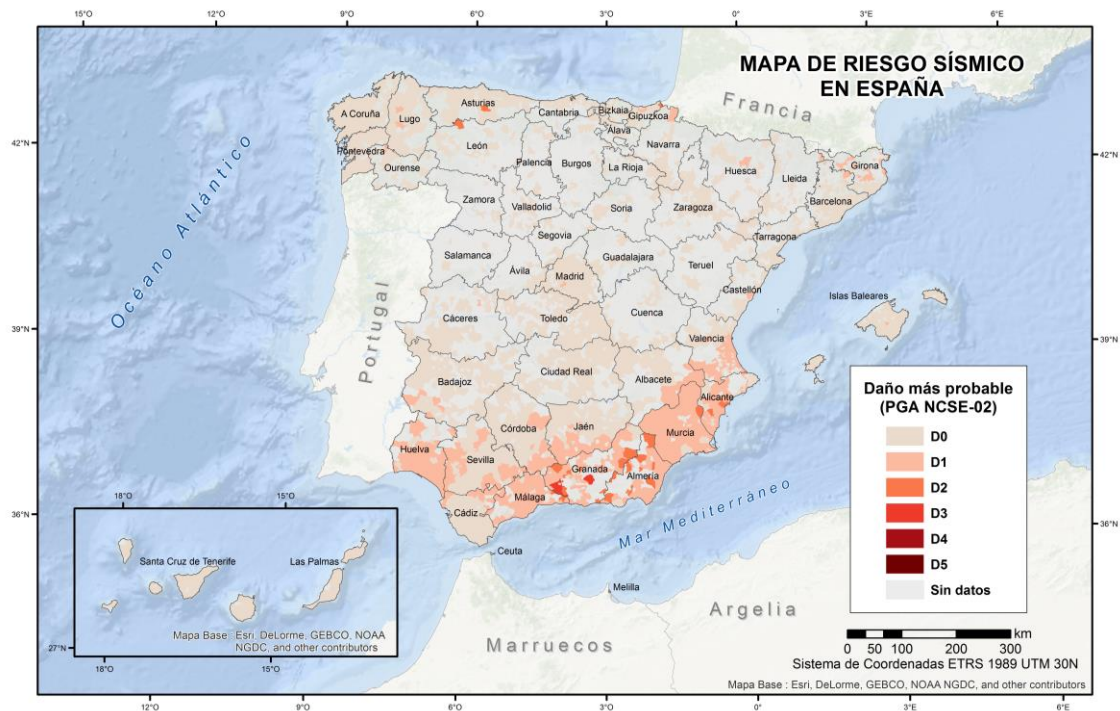


Figura 53. Mapa de riesgo sísmico en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 2011 a partir de los valores de PGA de la Norma.

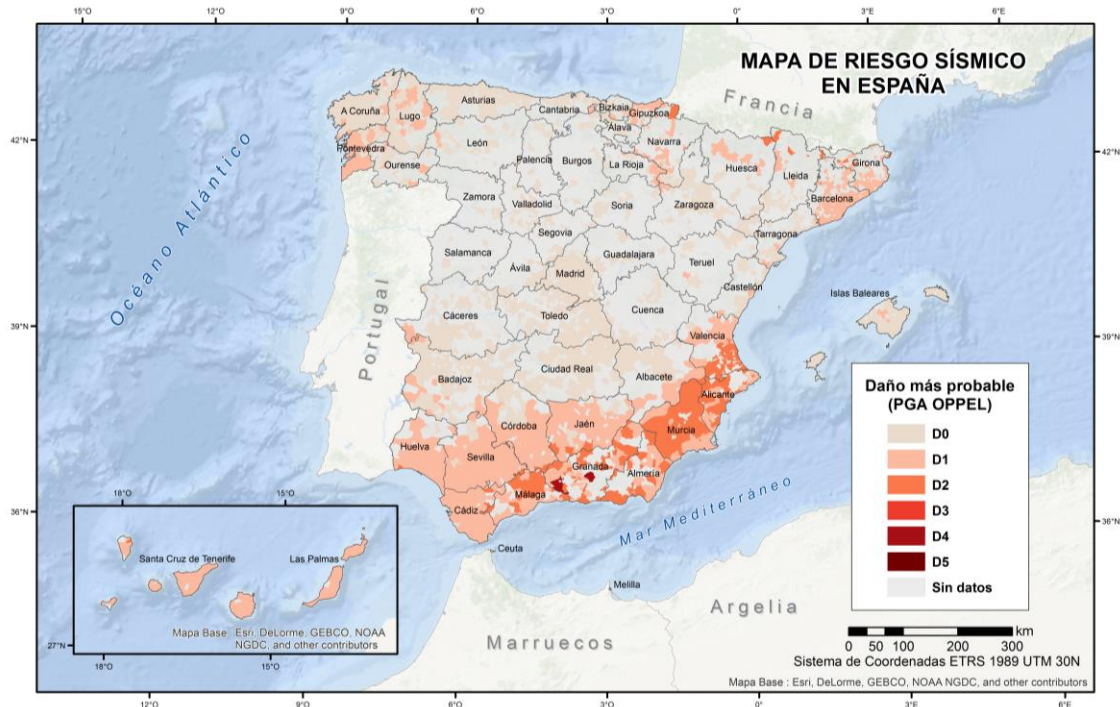


Figura 54. Mapa de riesgo sísmico en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 2011 a partir de los valores de PGA de OPPEL

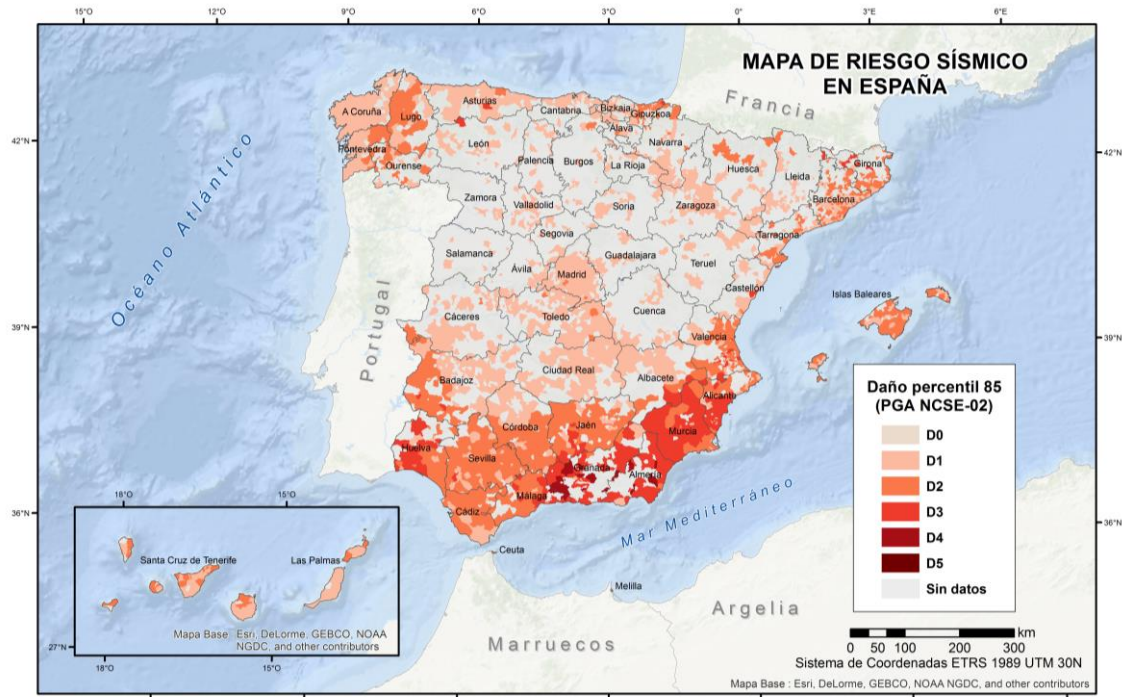


Figura 55. Mapa de riesgo sísmico en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 2011 a partir de los valores de PGA de la Norma.

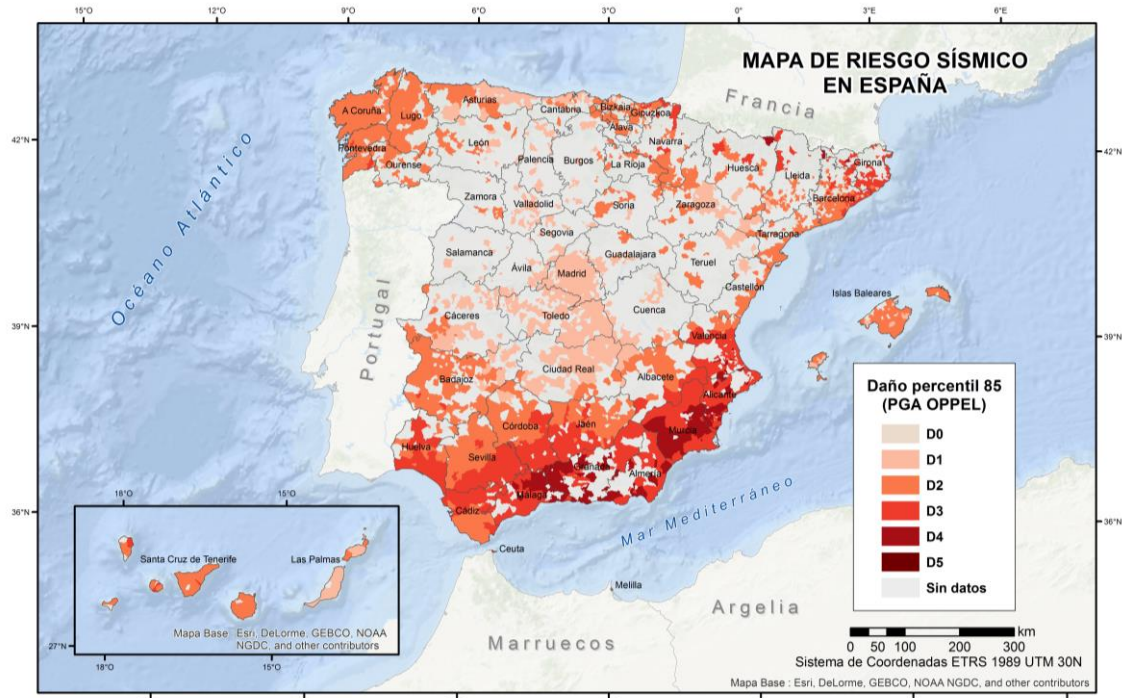


Figura 56. Mapa de riesgo sísmico en España de los municipios mayores de 2000 habitantes hasta el año 2011 a partir de los valores de PGA de OPPEL.



4.2.2 Edificios inhabitables

Para localizar las zonas que mayor daño sufrirían tras la obtención del riesgo sísmico a partir del nuevo mapa de peligrosidad se ha estudiado el porcentaje de edificios inhabitables en función del daño esperado, por un lado a partir de la peligrosidad de la Norma y por otro a partir del nuevo mapa de peligrosidad.

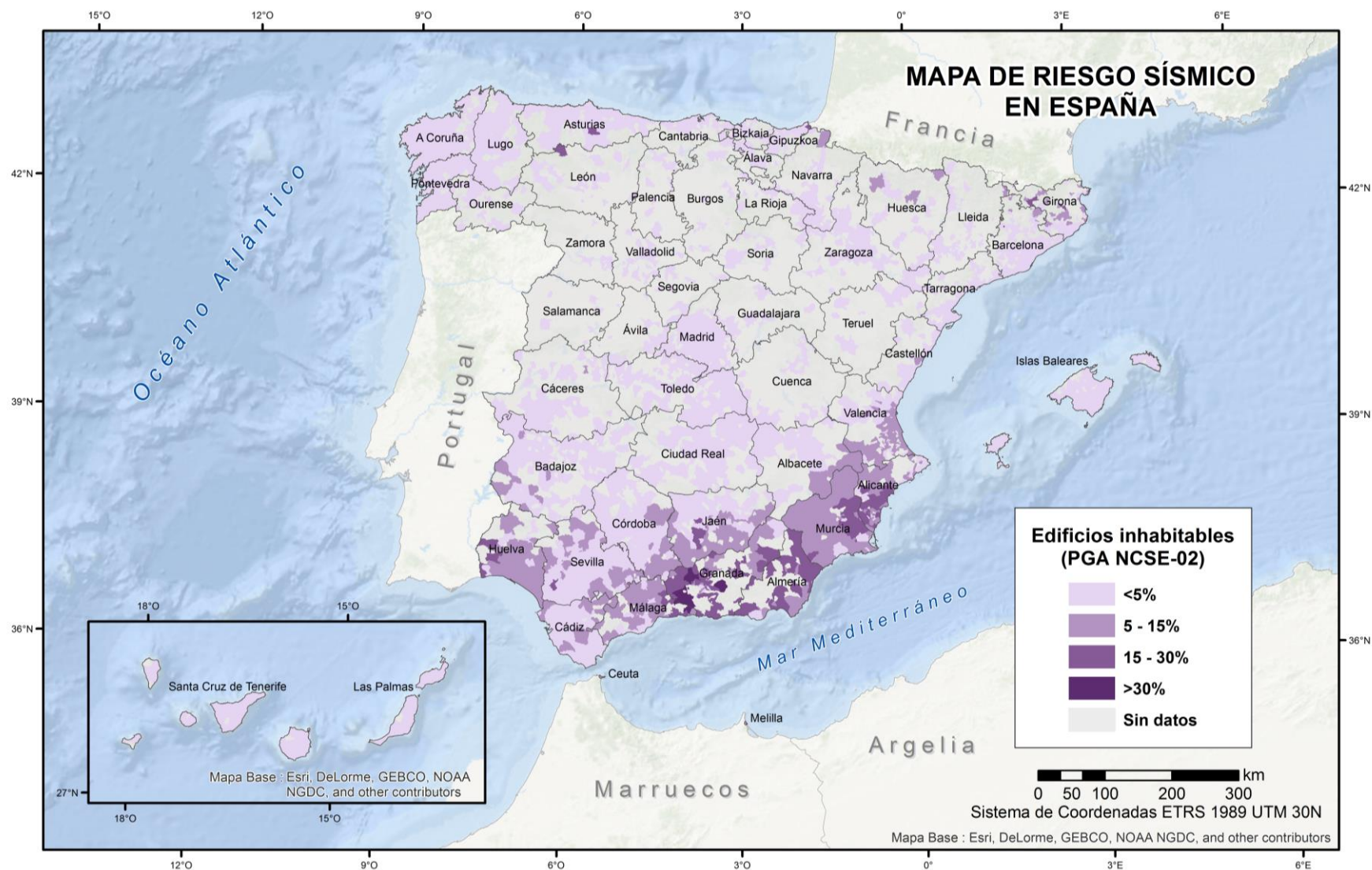


Figura 57. Mapa de riesgo sísmico en España dado en términos de edificios inhabitables a partir de los valores de PGA dados por la Norma.

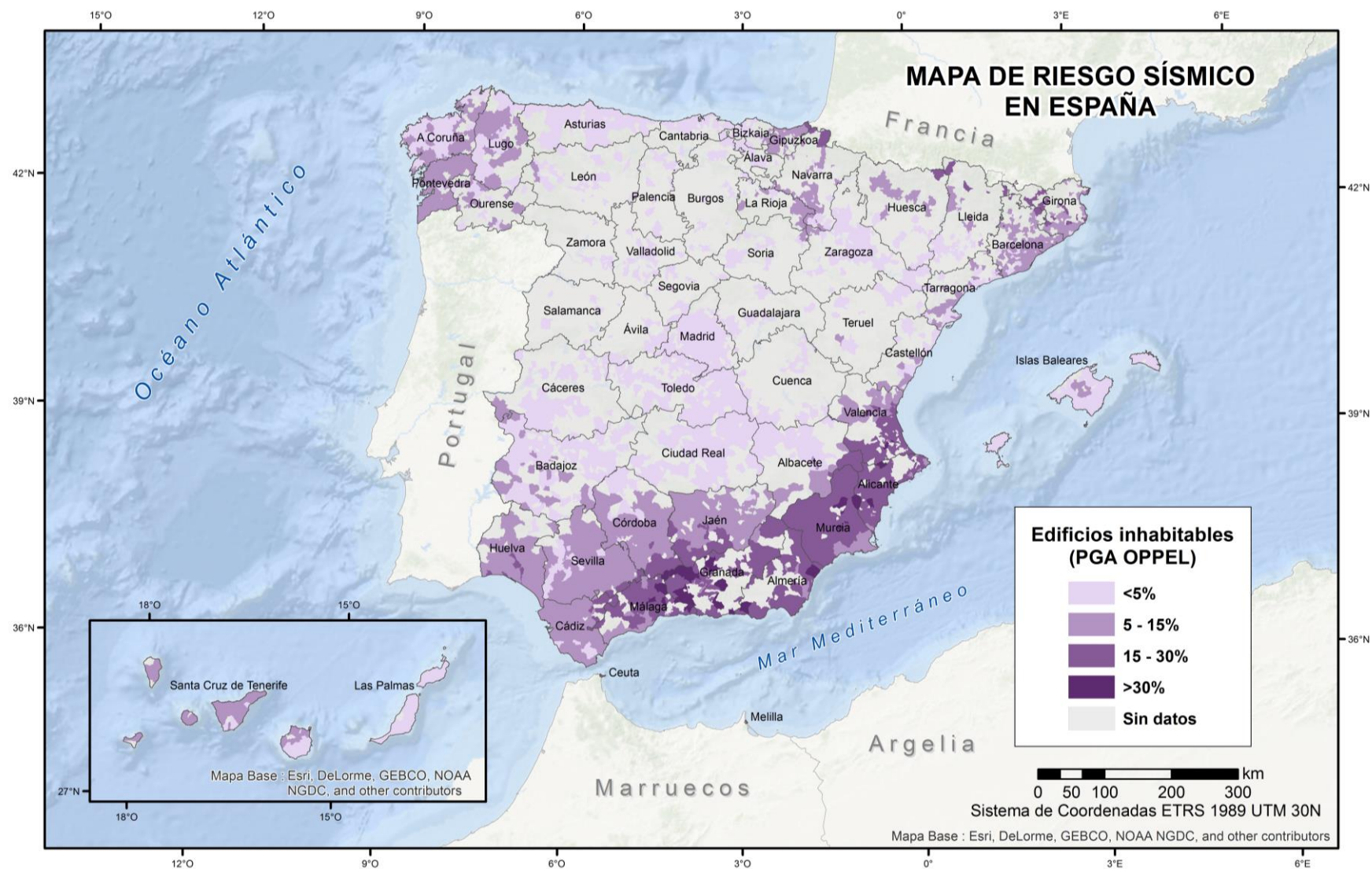


Figura 58. Mapa de riesgo sísmico en España dado en términos de edificios inhabitables a partir de los valores de PGA dados por la Norma.

Destacan zonas de Galicia, Guipúzcoa, Navarra, Cataluña y las Islas Canarias que pasan a tener entre un 5-15% de edificios inhabitables, y el sur y sureste de la península, Valencia, Alicante, Murcia, Almería, Granada y Málaga que pasan a tener entre un 15-30% de edificios inhabitables.

El aumento de edificios inhabitables obtenidos en función del nuevo mapa de peligrosidad es considerable con respecto al mapa de peligrosidad de la Norma, representándose en la Figura 59 el total de edificios inhabitables en España para visualizar la variación.

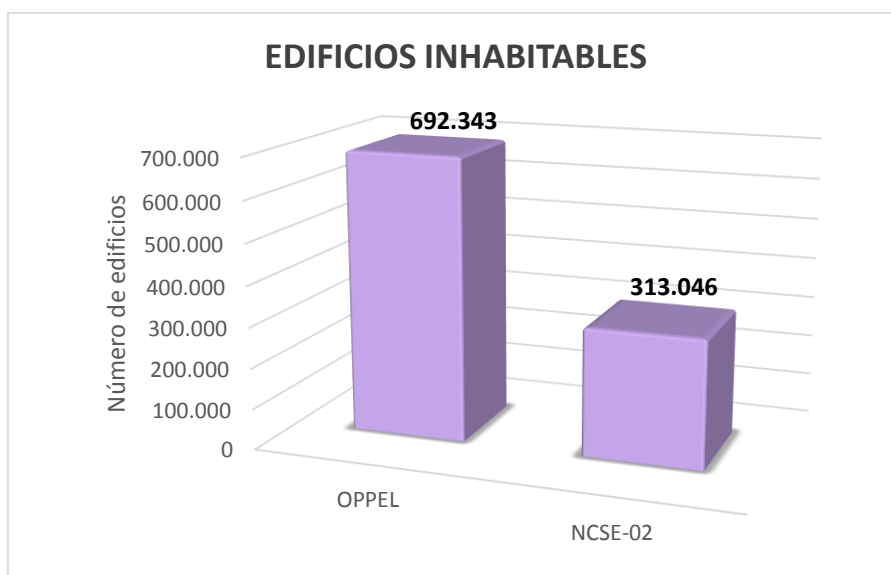


Figura 59. Comparación del número de edificios inhabitables en función de los valores de PGA dados por la NCSE-02 y OPPEL.

4.2.3 Coste asociado al daño

En función del Coste de Construcción, que depende principalmente del Coste de Referencia (Figura 60), y de porcentaje de cada grado de daño, particular para cada municipio, se ha asignado un valor de reparación de daños físicos.

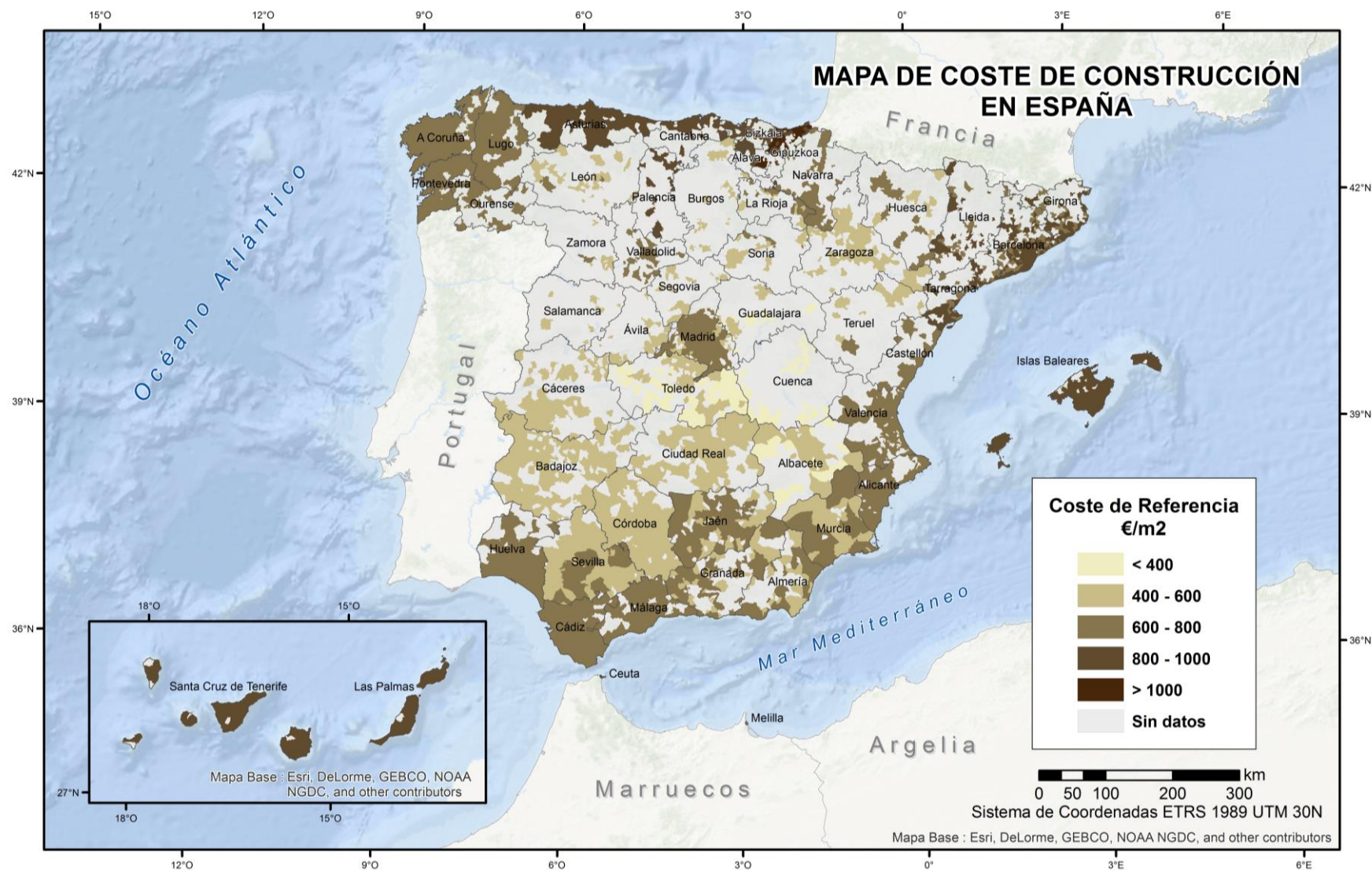


Figura 60. Mapa del valor del Coste de Referencia o Coste de Ejecución Material en cada municipio de España mayor de 2000 habitantes.

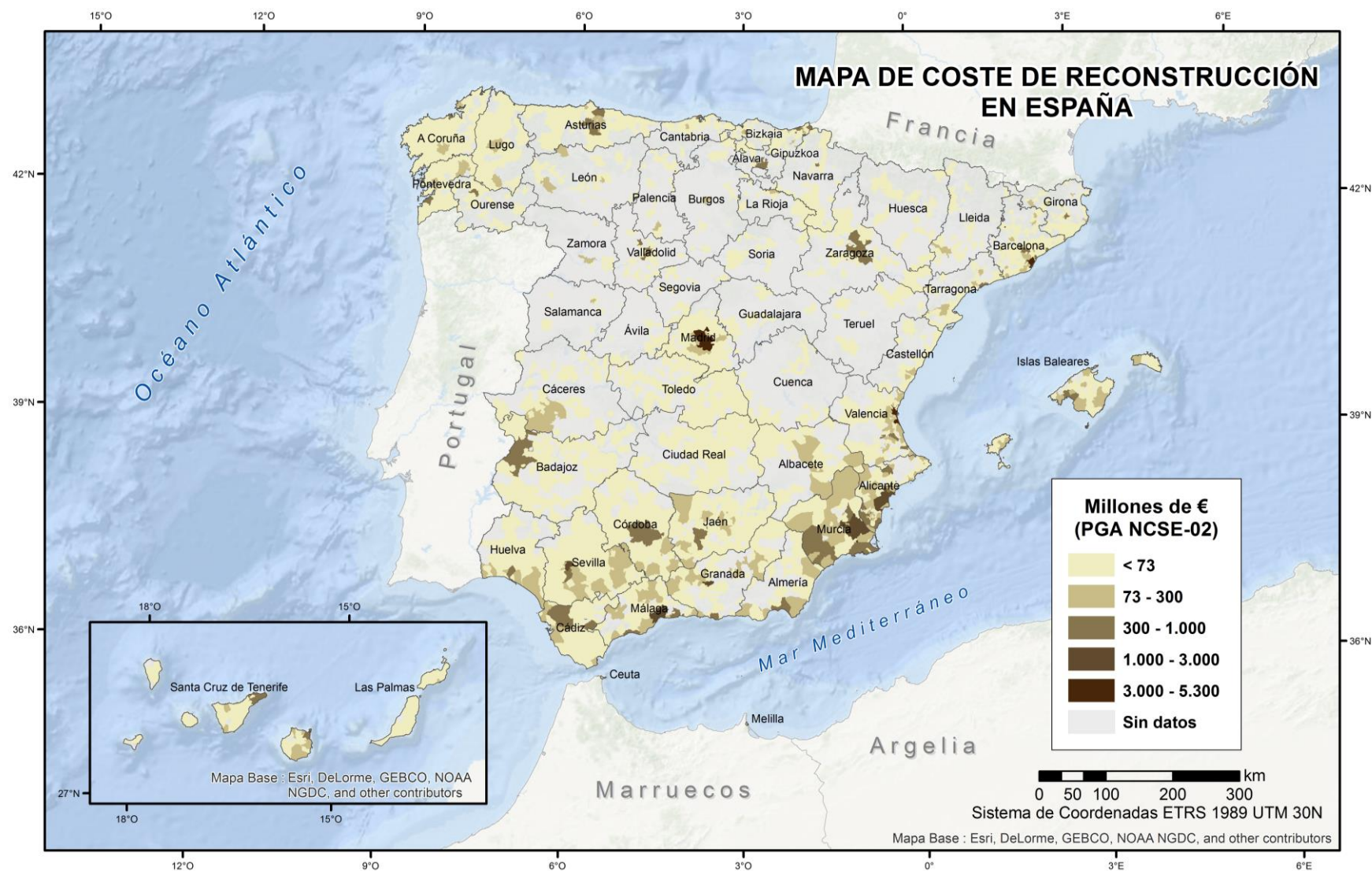


Figura 61. Mapa de coste de reconstrucción de los municipios en función del grado de daño determinado a partir de valores de PGA dados por la Norma, de los municipios de España mayores de 2000 habitantes.

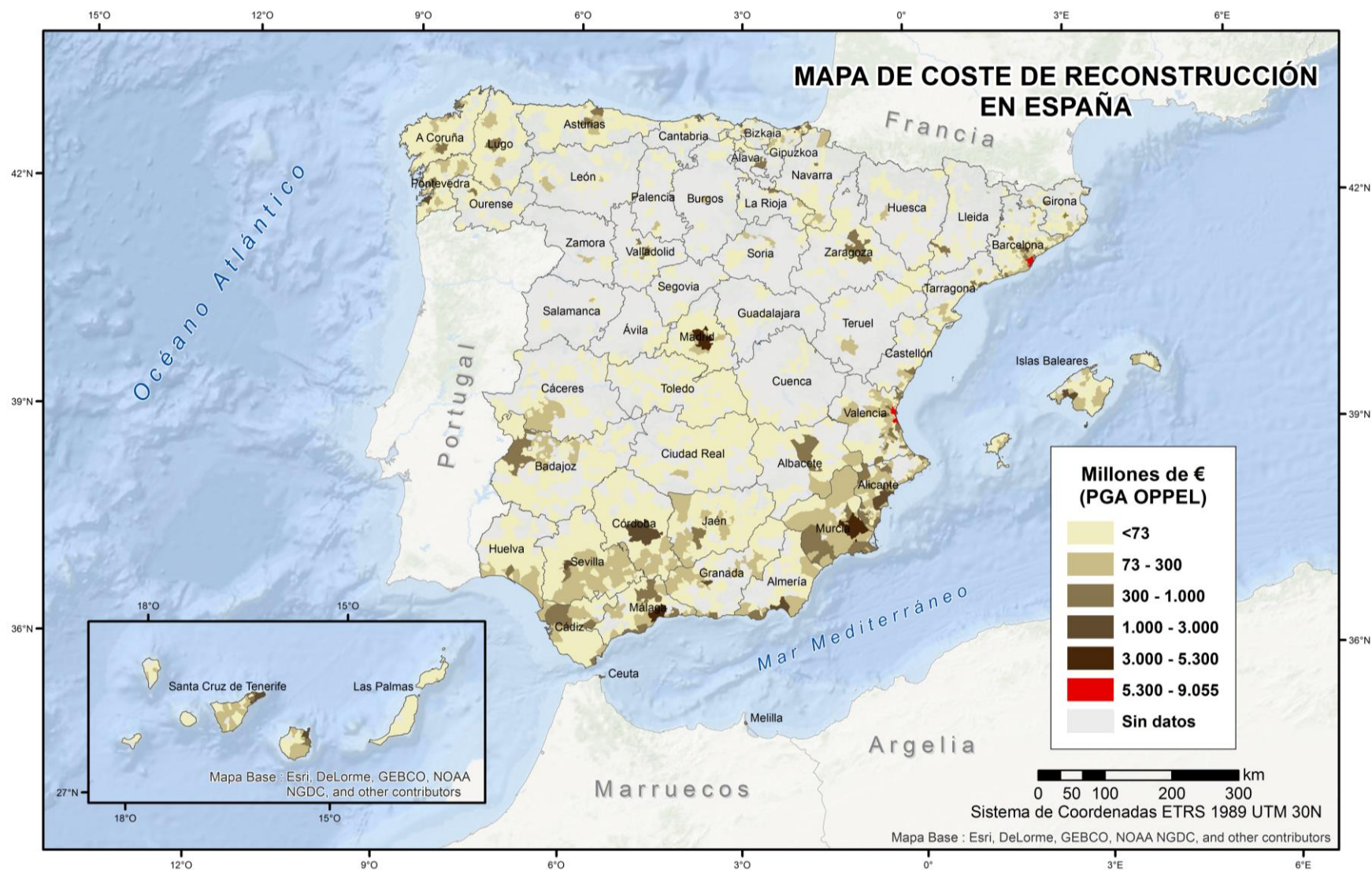


Figura 62. Mapa de coste de reconstrucción de los municipios en función del grado de daño determinado a partir de valores de PGA dados por la Norma, de los municipios de España mayores de 2000 habitantes.

Se ha estimado el coste de reconstrucción de los edificios en función del grado de daño esperado para cada uno de ellos, comparando el coste asociado al daño obtenido en función de la peligrosidad dada por la Norma vigente y por el nuevo mapa de peligrosidad.

Como resultado, se obtiene un incremento del coste en los municipios representados en los mapas de las Figuras 60 y 61. Se ha representado el coste medio de reconstrucción para cada grado de daño para representar la variación del coste esperado debido a la actualización del mapa de peligrosidad, así como el coste medio total para toda España con el objetivo de visualizar el impacto económico que supondría.

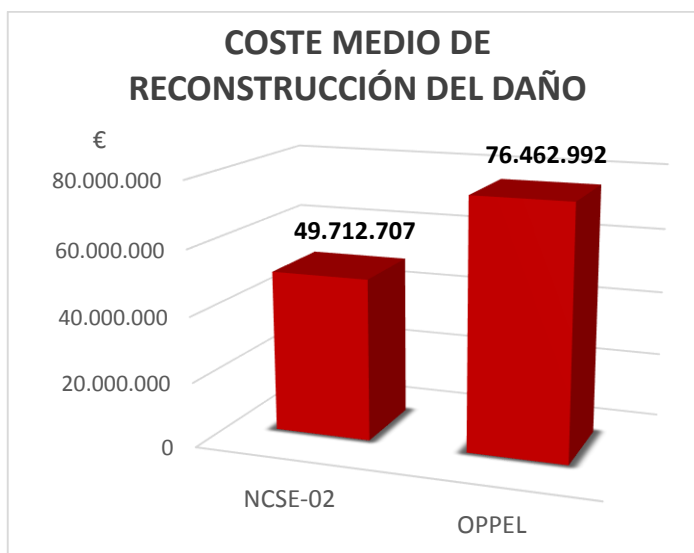


Figura 63. Comparación del coste medio de reparación del total de daño esperado según los valores de PGA dados por la NCSE-02 y OPPEL.

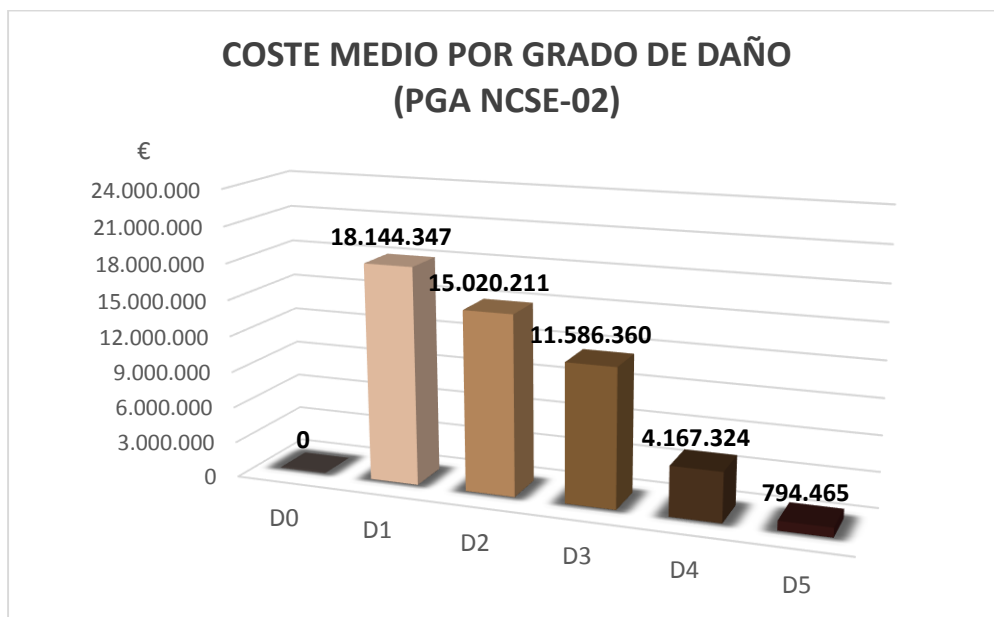


Figura 64. Coste medio de reparación de daños según los valores de PGA dados por la NCSE-02.

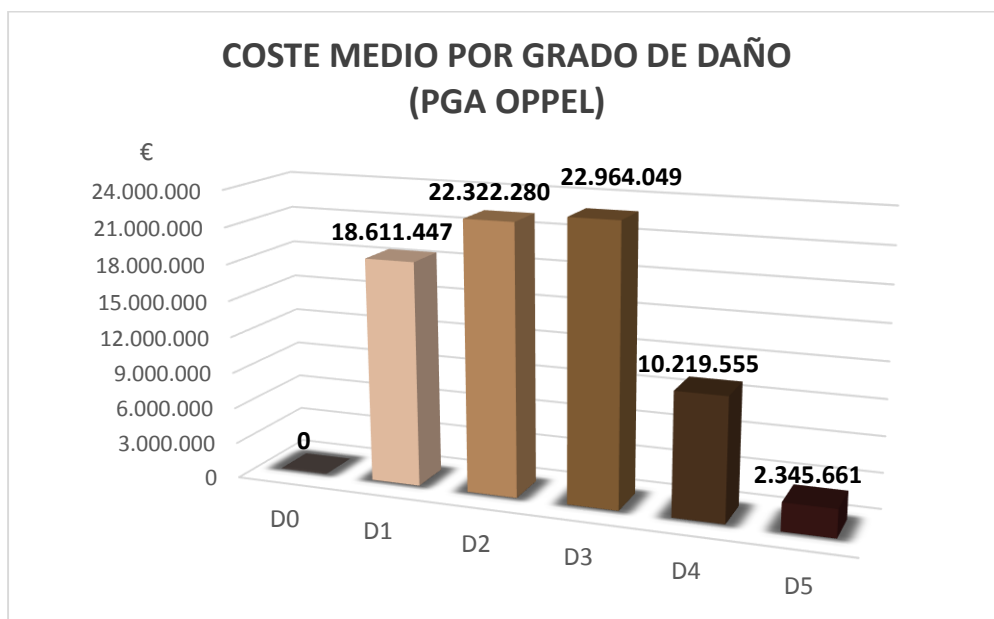


Figura 65. Coste medio de reparación de daños según los valores de PGA dados por OPPEL.



CONCLUSIONES



5. CONCLUSIONES

La determinación de la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones es un problema de gran complejidad que ha de ser abordado de diferentes formas en función de la escala de trabajo, debido a que son un gran número de variables las que influyen en la vulnerabilidad de un edificio, como la estructura, antigüedad, altura, geometría en planta y en altura, ubicación geográfica, distribución de masas, etc. El conocimiento de todos estos factores implica un inmenso trabajo de campo, lo que haría este trabajo inviable, por lo tanto, el objetivo del trabajo ha sido la evaluación de la vulnerabilidad del país con los parámetros que definen las clases de vulnerabilidad de metodologías conocidas. A partir de este estudio pueden abrirse nuevas líneas de investigación futuras con el fin de realizar estudios de riesgo con información detallada de los edificios de cada localidad, ya que el riesgo existente es característico de cada construcción.

En este trabajo, el riesgo se ha evaluado a partir de la obtención de la peligrosidad y vulnerabilidad, asociando un grado de daño para una localidad particular (en localidades mayores de 2000 habitantes). En general, la vulnerabilidad se mantiene en un nivel Alto para toda España, existiendo municipios del sur como Alicante, Murcia, Almería, Granada y Málaga principalmente, en los que a lo largo de los años se ha conseguido disminuir el riesgo sísmico gracias a la implementación de códigos sísmicos en las construcciones que han disminuido la vulnerabilidad edificatoria, llegando a valores de vulnerabilidad bajos según la metodología utilizada, en los edificios de municipios en los que la peligrosidad y la vulnerabilidad tenían niveles elevados (altos y muy altos), como ocurre en el sur de España. Por ejemplo, en la provincia de Granada, hasta el año 1990 la vulnerabilidad se dividía en clase alta y muy alta, desapareciendo por completo la clase muy alta en la última década, obteniendo un gran porcentaje de clases media y baja.

A pesar de esto, en la zona sur, los niveles de daño que se esperan son de grado 2 y 3, es decir, daños moderados y sustanciales, que sería importante reducir ya que supondrían un elevado impacto económico, llegando a precios de reconstrucción en dichos municipios, suponiendo una intensidad máxima, de hasta 9.000 millones de euros.



Debido a la variación de los valores de aceleración existentes en España, tras el cálculo del riesgo a partir de los valores de la Norma y los dados en el proyecto OPPEL, se observa como el riesgo existente aumenta considerablemente en la gran mayoría de los municipios, llegando a valores de riesgo de los años 1970, por lo que la actualización de la normativa española es necesaria, así como la necesidad de generar construcciones sismorresistentes con el fin de mitigar los efectos que provocan los sismos, principalmente en las zonas más vulnerables.

Líneas futuras:

- Realizar estudios de Riesgo sísmico a escala municipal con una mayor precisión de la vulnerabilidad de la edificación con el fin de mitigar los efectos de terremotos futuros. (Caso: terremoto de Lorca).
- Cálculo del coste en valores relativos para comparar con la misma unidad de medida todos los municipios.
- Revisión del porcentaje de Coste de Construcción asociado al grado de daño (En este trabajo, el CC de Madrid se dispara a pesar de que el daño es bajo).
- Realizar el estudio de Riesgo a partir de los mapas de PGA considerando el efecto del suelo.



PRESUPUESTO



6. PRESUPUESTO

En este apartado se muestra una estimación del coste económico del trabajo realizado y del tiempo necesario para llevarlo a cabo asignando los valores presupuestarios aproximados a los elementos que han intervenido.

6.1 RECURSOS HUMANOS

Se ha estimado el coste de recursos humanos a partir del precio unitario o por horas que un Graduado en Ingeniería Geomática y Topografía tiene, según el siguiente esquema temporal.

Tabla 11. Esquema temporal del trabajo.

ESQUEMA TEMPORAL		
		Horas
Adquisición de la información y preparación de los datos		180
Estudio de la información de las bases de datos y de la cartografía inicial		180
Vinculación de las bases de datos a la información geográfica		150
Revisión y verificación del trabajo		90
Redacción y composición de la memoria del proyecto		300
TOTAL		900

Tabla 12. Tabla de coste del personal del trabajo.

COSTE DEL PERSONAL		
		Coste/hora
Graduado en Geomática y Topografía		30 €
TOTAL		27.000 €



6.2 EQUIPOS

En este apartado se incluyen los costes de adquisición de hardware y software necesario para la ejecución del trabajo.

Tabla 13. Tabla de costes del equipo utilizado en el trabajo.

COSTE DE EQUIPOS	
	Coste
Equipo HP Compaq 610	500 €
Windows 7 Professional	149 €
Microsoft Office 2013	269 €
ArcGIS Desktop v10.1	5.500 €
Adobe Acrobat DC	199,65 €
TOTAL	6.617,65 €

6.3 MATERIAL FUNGIBLE

En este apartado se incluyen los costes de impresión y encuadernación, y otros gastos materiales.

Tabla 14. Tabla de costes del material fungible utilizado en el trabajo.

COSTE DEL MATERIAL FUNGIBLE	
	Coste
Impresión	75 €
Encuadernación	42 €
Otros materiales (CD, material de oficina...)	10 €
TOTAL	127 €



6.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA TOTAL

Considerando los costes anteriormente expuestos se estipula un coste total.

Tabla 15. Tabla de evaluación económica total del trabajo.

EVALUACIÓN ECONÓMICA TOTAL		
		Coste
Coste del personal		27.000 €
Coste de equipos		6.617,65 €
Coste del material fungible		127 €
SUBTOTAL		33.744,65 €
Beneficio empresarial (15%)		5.061,70 €
IVA (21%)		7.086,38 €
TOTAL		45.892,72 €

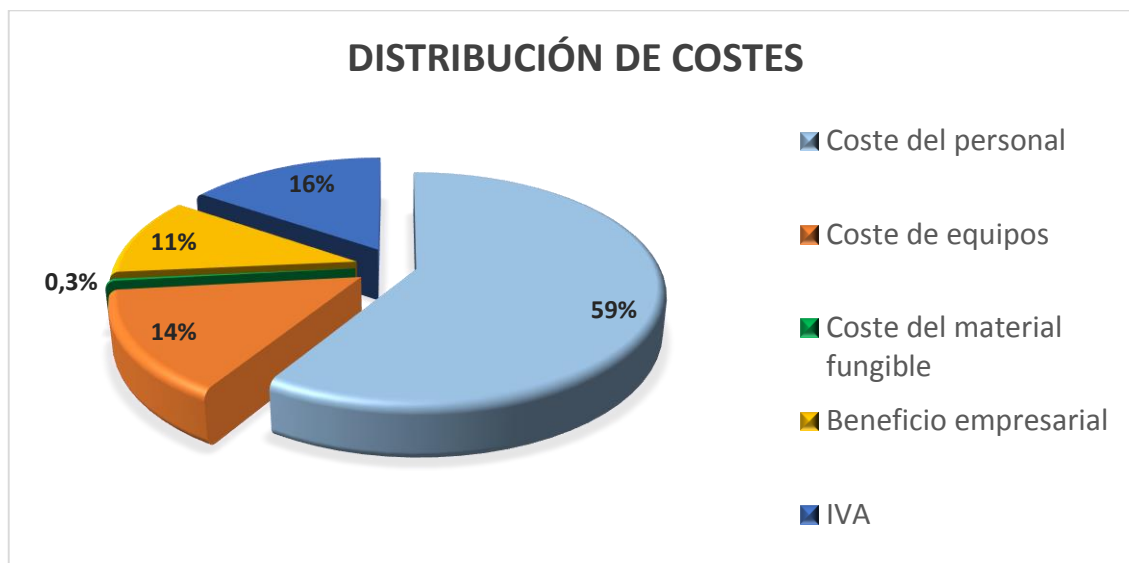


Figura 66. Gráfico de distribución de costes asociados al trabajo.



ANEXOS



ANEXOS

NORMA DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE ESPAÑOLA, 2002

La normativa vigente desde principios de octubre de 2002 es una actualización de la Norma de Construcción Sismorresistente Española NCSE-94, que está adecuada al conocimiento actual sobre sismología e ingeniería sísmica y donde se establecen las condiciones técnicas que tienen que cumplir las estructuras de edificación para que su comportamiento ante un fenómeno sísmico evite consecuencias negativas para la salud y la seguridad de las personas así como pérdidas económicas, y conserve los servicios básicos para la sociedad en caso de terremotos de intensidad elevada.

Para determinar la peligrosidad sísmica a nivel nacional se realizan estudios de amenaza, a partir de los terremotos producidos, tanto del movimiento del terreno como de su probabilidad de ocurrencia. Su estimación en un área concreta será determinada por los mapas de peligrosidad sísmica publicados por el Instituto Geográfico Nacional, en su versión más actualizada que, actualmente, es la ofrecida por el BOE, resolución del 17 de Septiembre de 2004 en la que se modifica la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico, aprobada por el Acuerdo del Consejo de Ministros de 7 de Abril de 1995.

Normalmente, el factor que se representa en un mapa de peligrosidad sísmica, es el valor máximo de aceleración que sufriría el terreno frente a un terremoto, denominado aceleración sísmica básica a_b , que es un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno que divide generalmente un territorio nacional en zonas de igual aceleración, y expresado en relación al valor de gravedad (g), y el coeficiente de contribución K , que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto. Estos valores del terreno se obtienen del análisis instrumental de los registros sísmicos en sismógrafos o acelerógrafos.

El mapa de peligrosidad sísmica de la Norma NCSE-02 ha sufrido modificaciones respecto la Norma NCSE-94, concretamente en la valoración de la



aceleración básica, manteniendo la clasificación de los edificios en tres niveles de importancia: moderada, normal y especial, siendo:

De importancia moderada: aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario, o producir daños económicos significativos a terceros.

De importancia normal: aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.

De importancia especial: aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este grupo se incluyen las construcciones que así se consideren en el planeamiento urbanístico y documentos públicos análogos así como en reglamentaciones más específicas, tales como hospitales, edificios para centros de organización y coordinación funciones en caso de desastres, centrales nucleares o térmicas, puertos, aeropuertos, superficies comerciales, etc.

Los criterios que se siguen dentro del territorio español para la consideración de las acciones sísmicas vienen establecidos en la Norma vigente. Las prescripciones de índole general son de aplicación a todas las construcciones, y son las siguientes:

La Norma es de aplicación al proyecto, construcción y conservación de edificaciones de nueva planta. En los casos de reforma o rehabilitación que impliquen modificaciones substanciales de la estructura son asimilables a los de construcción de nueva planta. El proyectista o director de obra puede adoptar bajo su responsabilidad, criterios distintos a los de la Norma, siempre que el nivel de seguridad y servicio de construcción no sea inferior al fijado por la norma, reflejándose debidamente en el proyecto.

- Como criterio general, no es obligatoria la aplicación de la norma en los siguientes casos:

En las construcciones de importancia moderada.



En las edificaciones de importancia normal o especial, cuando la aceleración sísmica básica a_b sea inferior a 0,04 g siendo g la aceleración de la gravedad; éste umbral era de 0,06 g en la norma del 94, por lo tanto se ha disminuido el umbral, lo que indica que habrá un mayor número de construcciones en las que sea obligatoria la aplicación de la normativa.

En las construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica a_b sea inferior a 0,08 g. Si la a_b es mayor o igual a 0,08g y el edificio es de más de siete plantas sí será aplicable.

En los casos en que sea de aplicación ésta Norma no se utilizarán estructuras de mampostería en seco, de adobe o de tapial en las edificaciones de importancia normal o especial. En la norma anterior esto se permitía cuando la aceleración sísmica de cálculo es inferior a 0,08 g.

- La Norma es de obligado cumplimiento en edificios desfavorables a un seísmo en las zonas con aceleración sísmica igual o superior a 0,04g, es decir, Andalucía, Murcia, sur de la Comunidad Valenciana y su costa, el Pirineo Catalán, norte de Aragón y Navarra, este de País Vasco y Galicia y pequeñas zonas de Albacete y Badajoz.

De igual forma la legislación es aplicable en edificios de importancia normal en las zonas donde la aceleración sísmica es igual o superior a 0,08g, es decir, en Huelva, Granada, Málaga, parte de Jaén, Almería Murcia, Alicante, Lleida y el norte de Huesca.

El mapa suele actualizarse según va avanzando el conocimiento del ciclo sísmico de la zona debido a las investigaciones realizadas en el registro geológico e histórico, o bien por la ocurrencia de nuevos eventos en la zona.

Los métodos de cálculo aplicados en la Norma establecen el análisis de la estructura mediante espectros de respuesta como método de referencia para el cálculo sísmico, y el estudio dinámico por integración de registros de aceleración, utilizando siempre un modelo representativo de la distribución real de rigideces y masas.



REFERENCIAS



REFERENCIAS

- BENITO ET AL. (2006). “Riesgo Sísmico de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia”. Proyecto RISMUR.
- BENITO ET AL. (2007). “Riesgo Sísmico de la Comunidad Autónoma de Andalucía”. Proyecto SISMOSAN.
- BENITO, B y JIMÉNEZ, M. E. (1999). “La Peligrosidad, Física de la Tierra”. (11:13-47).
- CHÁVEZ. (1998). “Evaluación de la Vulnerabilidad y el Riesgo Sísmico a Escala Regional: Aplicación a Cataluña”. Tesis Doctoral, Univ. Barcelona.
- CHÁVEZ ET AL.(1999). “Escenarios Sísmicos en Cataluña”. Murcia: 1er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.
- GRÜNTAL, G. (1998). “Escala Macrosísmica Europea” (ed.F.Lorenzo Martín).
- IGLESIAS ET AL. (2007). “Análisis del Riesgo sísmico en zonas urbanas mediante Sistemas de Información Geográfica. Aplicación a la ciudad de Granada”. BIBLID [0210-5462 (2006-2); 39: 147-166].
- IGN-UPM. (2013). “Nuevo mapa de peligrosidad sísmica de España”. Proyecto OPPEL.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. (2002). “Norma de Construcción Sismorresistente Española: Parte general y edificación. NCSE-02”.
- LÓPEZ ARROYO, A y VILLACAÑAS, J. (1999). “Metodología simplificada para el Análisis del Riesgo Sísmico”. Física de la tierra.
- MILUTINOVIC, Z. V.yTRENDAFILOSKI, G. S.(2003). “WP4 Vulnerability of current buildings. Risk-UE: An advanced approach to earthquake risk scenarioswith applications to different Europeantowns”. Contract No. EVK4-CT-2000-00014. 108 pp.
- SALGADO ET AL. (2015). “Probabilistic seismic hazard and risk assessment in Spain”.Monografía CIMNE IS69.
- UNDRO. (1979). “Natural Disasters and Vulnerability Analysis”. Report Exert Group Meeting, Geneva, 49 p.



CATASTRO <http://www.catastro.meh.es/>
COA ALMERÍA <http://www.coaalmeria.com/>
COA CASTILLA LA MANCHA <http://www.coacm.org/>
COA CASTILLA Y LEÓN <http://coacyle.com/>
COA CATALUÑA <https://www.arquitectes.cat/>
COA CEUTA <http://www.arquitectosdeceuta.com/>
COA COMUNIDAD VALENCIANA <http://www.ctaa.net/>
COA CÓRDOBA <http://www.coacordoba.net/>
COA EXTREMADURA <http://www.coade.org/>
COA GALICIA <http://portal.coag.es/>
COA GRANADA <http://www.coagranada.org/>
COA ISLAS BALEARES <http://www.caib.es/>
COA LA RIOJA <http://www.coar.es/>
COA MADRID <http://portal.coam.org/>
COA MÁLAGA <http://www.coamalaga.es/>
COA MELILLA <http://www.coacam.es/>
COA MURCIA <http://www.coamu.es/>
COA PAÍS VASCO http://www.coavn.org/coavn/jsp/coavn/agendaColegial_esp.jsp
COA SEVILLA <http://www.coasevilla.org/>
SIG <http://www.diva-gis.org/gdata>
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA <http://www.ine.es/>